

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-025018  
 (43)Date of publication of application : 25.01.2002

(51)Int.Cl. 611B 5/39  
 H01L 43/08

(21)Application number : 2000-208403  
 (22)Date of filing : 10.07.2000

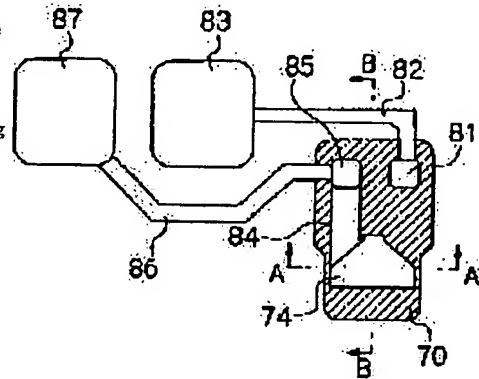
(71)Applicant : TDK CORP  
 (72)Inventor : SHIMAZAWA KOJI  
 SARUGI SHUNJI

(54) MAGNETORESISTANCE EFFECT THIN FILM MAGNETIC HEAD AND ITS MANUFACTURING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an MR(magnetoresistance effect) thin film magnetic head provided with, for example a TMR(tunnel magnetoresistive) element or a CPP- GMR(current perpendicular to the plane-giant magnetoresistive) element, and has greatly improved frequency characteristic.

SOLUTION: This magnetic head is provided with a lower shielding layer, the lower gap layer of a non-magnetic conductor laminated on the lower shielding layer, an MR laminate formed on the lower shielding layer and in which, a current flows perpendicularly to a laminate plane, the upper gap layer of a nonmagnetic conductor formed on the MR laminate, the insulating gap layer of an insulator formed at least between the lower shielding layer and the upper gap layer, and an upper shielding layer laminated on the upper gap layer. In a position where the MR laminate is not present, an additional insulating layer is formed so as to increase a distance between the lower shielding layer and the upper gap layer.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 01.08.2001  
 [Date of sending the examiner's decision of rejection] 10.12.2002  
 [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
 [Date of final disposal for application]  
 [Patent number]  
 [Date of registration]  
 [Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
 [Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
 [Date of extinction of right]

## \* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## CLAIMS

## [Claim(s)]

- [Claim 1] A lower shielding layer and the lower gap layer of the nonmagnetic conductor by which the laminating was carried out on this lower shielding layer, The magneto-resistive effect layered product to which it is formed on this lower gap layer, and a current flows perpendicularly to a laminating side, The up gap layer of the nonmagnetic conductor by which laminating formation was carried out on this magneto-resistive effect layered product, The insulating gap layer of the insulator formed between said lower shielding layer and said up gap layer at least, It has the up shielding layer by which laminating formation was carried out on said up gap layer. The magneto-resistive effect mold thin film magnetic head characterized by forming the additional insulator layer so that the distance between said lower shielding layer and said up gap layer may increase in the location where said magneto-resistive effect layered product does not exist.
- [Claim 2] The magneto-resistive effect mold thin film magnetic head according to claim 1 characterized by forming the insulator layer of said addition in the crevice established in said lower shielding layer in the location where said magneto-resistive effect layered product does not exist.
- [Claim 3] The magneto-resistive effect mold thin film magnetic head according to claim 1 or 2 characterized by forming the insulator layer of said addition as a lower layer of said up gap layer in the location where said magneto-resistive effect layered product does not exist.
- [Claim 4] The magneto-resistive effect mold thin film magnetic head given in any 1 term of claims 1-3 characterized by being the tunnel magneto-resistive effect layered product which said magneto-resistive effect layered product equipped with the tunnel barrier layer and the ferromagnetic thin membrane layer of the pair this whose tunnel barrier layer is pinched.
- [Claim 5] The magneto-resistive effect mold thin film magnetic head given in any 1 term of claims 1-3 characterized by being the perpendicular direction current passage mold giant magneto-resistance layered product which said magneto-resistive effect layered product equipped with the non-magnetic metal layer and the ferromagnetic thin membrane layer of the pair this whose non-magnetic metal layer is pinched.
- [Claim 6] It is the manufacture approach of the magneto-resistive effect mold thin film magnetic head which equipped the laminating side with the magneto-resistive effect layered product to which a current flows perpendicularly. A crevice is formed in this a part of lower shielding layer in the location in which a lower shielding layer is formed in and said magneto-resistive effect layered product is not formed. Form an additional insulator layer in the formed this crevice, and the lower gap layer of a nonmagnetic conductor is formed on said lower shielding layer of the location in which said magneto-resistive effect layered product is formed. Form said magneto-resistive effect layered product on this lower gap layer, and the insulating gap layer by the insulator surrounding said lower gap layer and said magneto-resistive effect layered product is formed on the insulator layer of said addition at least. The manufacture approach of the magneto-resistive effect mold thin film magnetic head characterized by forming the up gap layer of a nonmagnetic conductor on said magneto-resistive effect layered product and said insulating gap layer, and forming an up shielding layer on said up gap layer.
- [Claim 7] It is the manufacture approach of the magneto-resistive effect mold thin film magnetic head which equipped the laminating side with the magneto-resistive effect layered product to which a current flows perpendicularly. Form a lower shielding layer and the lower gap layer of a nonmagnetic conductor is formed on said lower shielding layer of the location in which said magneto-resistive effect layered product is formed. Form said magneto-resistive effect layered product on this lower gap layer, and the insulating gap layer by the insulator surrounding said lower gap layer and said magneto-resistive effect layered product is formed on said lower shielding layer. In the location in which said magneto-resistive effect layered product is not formed, an additional insulator layer is formed on said insulating gap layer. The manufacture approach of the magneto-resistive effect mold thin film magnetic head characterized by forming the up gap layer of a nonmagnetic conductor on said magneto-resistive effect layered product and the insulator layer of said addition, and forming an up shielding layer on said up gap layer.
- [Claim 8] It is the manufacture approach of the magneto-resistive effect mold thin film magnetic head which equipped the laminating side with the magneto-resistive effect layered product to which a current flows perpendicularly. A crevice is formed in this a part of lower shielding layer in the location in which a lower shielding layer is formed in and said magneto-resistive effect layered product is not formed. Form the insulator layer of the 1st addition in the formed this crevice, and the lower gap layer of a nonmagnetic conductor is formed on said lower shielding layer of the location in which said magneto-resistive effect layered product is formed. Form said magneto-resistive effect layered product on this lower gap layer, and the insulating gap layer by the insulator surrounding said lower gap layer and said magneto-resistive effect layered product is formed on the insulator layer of said 1st addition at least. In the location in which said magneto-resistive effect layered product is not formed, the insulator layer of the 2nd addition is formed on said insulating gap layer. The manufacture approach of the magneto-resistive effect mold thin film magnetic head characterized by forming the up gap layer of a nonmagnetic conductor on said magneto-resistive effect layered product and the insulator layer of said 2nd addition, and forming an up shielding layer on said up gap layer.
- [Claim 9] The manufacture approach of the magneto-resistive effect mold thin film magnetic head given in any 1 term of claims 6-8 characterized by being the tunnel magneto-resistive effect layered product which said magneto-resistive effect layered product equipped with the tunnel barrier layer and the ferromagnetic thin membrane layer of the pair this whose tunnel barrier layer is pinched.
- [Claim 10] The manufacture approach of the magneto-resistive effect mold thin film magnetic head given in any 1 term of claims 6-8 characterized by being the perpendicular direction current passage mold giant magneto-resistance layered product which said magneto-resistive effect layered product equipped with the non-magnetic metal layer and the ferromagnetic thin membrane

layer of the pair this whose non-magnetic metal layer is pinched.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## DETAILED DESCRIPTION

## [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention is usable to for example, hard disk drive (HDD) equipment, and a current is related with the manufacture approach of the magneto-resistive effect (MR) mold thin film magnetic head equipped with the tunnel magneto-resistive effect (TMR) component or perpendicular direction current passage mold giant magneto-resistance (CPP(Current Perpendicular to the Plane)-GMR) component which flows to a laminating side and a perpendicular direction, and its MR mold thin film magnetic head.

[0002]

[Description of the Prior Art] In connection with the densification of HDD equipment, the magnetic head of high sensitivity and high power is demanded more. The TMR component using the ferromagnetic tunnel effect which consists of multilayer structure of a lower ferromagnetic thin film layer / tunnel barrier layer / up ferromagnetism thin membrane layer as what replies to this demand in recent years The CPP-GMR component to which it is a kind of the GMR component which consists of multilayer structure of a lower ferromagnetism thin membrane layer / non-magnetic metal layer / up ferromagnetism thin membrane layer, and a current flows to a laminating side and a perpendicular direction (For example, JP,4-103014,A) (For example) W. P.Pratt, Jr et al, "Perpendicular Giant Magnetoresistance of Ag/Co Multilayers", PHYSICAL REVIEW LETTERS, Vol.66, No.23, pp.3060-3063, June 1991 attracts attention. As compared with the general GMR component (CIP(Current-InPlane)-GMR component) for which a current flows along a laminating side, several times bigger MR rate of change is obtained, and, moreover, these components can realize a narrow gap easily. In addition, the "lower part" and the "upper part" in a lower ferromagnetism thin membrane layer and an up ferromagnetism thin membrane layer are vocabulary which shows physical relationship with a substrate, generally, the side near a substrate is the lower part and a far side is the upper part.

[0003] Drawing 1 is drawing which looked at the CIP-GMR component which has general structure from ABS (surfacing side).

[0004] the lower gap layer in which 10 was formed in in the lower shielding layer, and 11 was formed by the insulating material in this drawing, and 12 — a lower ferromagnetism thin membrane layer (a free layer) — an up shielding layer and 15 show a hard bias layer, and, in the GMR layered product which consists of multilayer structure of a /non-magnetic-metal layer / up ferromagnetism thin membrane layer (pinned layer) / antiferromagnetism thin film layer, the up gap layer in which 13 was formed by the insulating material, and 14, 16 shows an electrode layer, respectively.

[0005] A sense current flows to the laminating side of the GMR layered product 12, and parallel, and the lower part and the up shielding layers 10 and 14, and the GMR layered product 12 are electrically insulated in the lower part and the up gap layers 11 and 13.

[0006] In such a CIP-GMR component, although it is necessary to use a very thin insulator with very high withstand voltage for the lower part and the up gap layers 11 and 13 in order to realize narrow gap-ization, it is difficult to realize the insulator of such a property, and this serves as a bottleneck for densification.

[0007] Drawing 2 is drawing which looked at the TMR component or CPP-GMR component which has general structure from ABS.

[0008] The lower gap layer of the electrode combination in which 20 was formed in in the lower shielding layer of electrode combination, and 21 was formed with the metallic material in this drawing. The TMR layered product which 22 becomes from the multilayer structure of a lower ferromagnetism thin membrane layer (free layer) / a tunnel barrier layer / up ferromagnetism thin membrane layer (pinned layer) / antiferromagnetism thin film layer, or a lower ferromagnetism thin membrane layer (free layer) — the CPP-GMR layered product which consists of multilayer structure of a /non-magnetic metal layer / up ferromagnetism thin membrane layer (pinned layer) / antiferromagnetism thin film layer — The up gap layer of the electrode combination in which 23 was formed with the metallic material, and 24 show the insulating gap layer in which the up shielding layer of electrode combination and 25 were formed in in the hard bias layer, and 26 was formed by the insulating material, respectively. In addition, 22a is the lower ferromagnetism thin membrane layer (free layer) extended in the hard bias layer 25 direction along the laminating side from the TMR layered product or the CPP-GMR layered product.

[0009] In such a TMR component or a CPP-GMR component, implementation of narrow-gap-izing is possible, without between the lower shielding layer's 20 and the up shielding layer 24 having flowed electrically, therefore worrying about dielectric breakdown of a gap layer, in order to pass a sense current to a laminating side and a perpendicular direction. Consequently, it is possible to improve track recording density sharply.

[0010] In HDD equipment, not only a raise in recording density such but high transfer rate-ization has been a very important technical problem. Although a transfer rate is greatly influenced by the rotational speed of a magnetic disk, it is influenced very greatly by the frequency characteristics of a recording head or the reproducing head.

[0011]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Drawing 3 is the representative circuit schematic of a CIP-GMR component, and drawing 4 is the representative circuit schematic of a TMR component or a CPP-GMR component.

[0012] In a CIP-GMR component, an essential factor which it is [ factor ] only that the equivalent resistance RGMR of a GMR component exists between output terminals, and degrades frequency characteristics does not exist all over the circuit so that clearly from drawing 3 . However, in the TMR component or CPP-GMR component of structure which uses a shielding layer as an electrode, the capacitance CTMR of the capacitance CShield between shielding layers and a TMR component, or the CPP-GMR component itself other than the equivalent resistance RTMR of a TMR component or a CPP-GMR component will exist

between output terminals, it will become the form where these constitute a low pass filter, and frequency characteristics will deteriorate remarkably so that clearly from drawing 4.

[0013] Therefore, the purpose of this invention is to be able to improve frequency characteristics sharply, for example, offer MR mold thin film magnetic head equipped with the TMR component or the CPP-GMR component, and its manufacture approach.

[0014]

[Means for Solving the Problem] The lower gap layer of the nonmagnetic conductor by which the laminating was carried out on the lower shielding layer and the lower shielding layer according to this invention, MR layered product to which it is formed on the lower gap layer, and a current flows perpendicularly to a laminating side. The up gap layer of the nonmagnetic conductor by which laminating formation was carried out on this MR layered product. The insulating gap layer of the insulator formed between the lower shielding layer and the up gap layer at least. It has the up shielding layer by which laminating formation was carried out on the up gap layer, and MR mold thin film magnetic head in which the additional insulator layer is formed so that the distance between a lower shielding layer and an up gap layer may increase in the location where MR layered product does not exist is offered.

[0015] Since the additional insulator layer is formed so that the distance between a lower shielding layer and an up gap layer may increase in the location where MR layered product does not exist, the capacitance  $C_{\text{Shield}}$  between a lower shielding layer and an up shielding layer becomes small. Consequently, the frequency characteristics of the thin film magnetic head improve remarkably.

[0016] Drawing 5 is drawing showing the opposite frequency characteristics of a head output in case the capacitance between shielding layers is  $C_{\text{Shield}}=6\text{pF}$  in the equal circuit shown in drawing 4, and drawing 6 is drawing showing the opposite frequency characteristics of a head output in case the capacitance between shielding layers is  $C_{\text{Shield}}=1\text{pF}$  in the equal circuit similarly shown in drawing 4. However, the capacitance of a TMR component or a CPP-GMR component is set to  $CTMR=0.01\text{pF}$ , and the load connected to an output terminal is set to  $10\text{ M}\Omega$ .

[0017] In order in the case of capacitance  $C_{\text{Shield}}=6\text{pF}$  between shielding layers for the cut off frequency  $f_c$  to which an output falls by 3dB to decrease with increase of the component resistance  $RTMR$  and to set to  $f_c>500\text{MHz}$  so that clearly from drawing 5, component resistance  $RTMR$  must be set to 50ohms or less. In the TMR component of two or more 100 Gbits/in recording density, it is very difficult to realize such low component resistance.

[0018] On the other hand, in the case of capacitance  $C_{\text{Shield}}=1\text{pF}$  between shielding layers, even if the component resistance  $RTMR$  is 300ohms or more, it becomes possible to be referred to as  $f_c>500\text{MHz}$ , so that clearly from drawing 6. That is, by making the capacitance  $C_{\text{Shield}}$  between shielding layers small, even if the component resistance  $RTMR$  is 300ohms or more realizable enough, the frequency characteristics of the thin film magnetic head can be raised remarkably. In addition, as compared with the capacitance  $C_{\text{Shield}}$  between shielding layers, since it is far (double or more figures) small, the capacitance  $CTMR$  of a TMR component or a CPP-GMR component does not pose a problem so much.

[0019] It is desirable that the additional insulator layer is formed in the crevice established in the lower shielding layer in the location where MR layered product does not exist.

[0020] It is also desirable that the additional insulator layer is formed as a lower layer of an up gap layer in the location where MR layered product does not exist.

[0021] Moreover, according to this invention, it is the manufacture approach of MR mold thin film magnetic head which equipped the laminating side with MR layered product to which a current flows perpendicularly. A crevice is formed in a part of lower shielding layer in the location in which a lower shielding layer is formed in and MR layered product is not formed. Form an additional insulator layer in the formed crevice, and the lower gap layer of a nonmagnetic conductor is formed on the lower shielding layer of the location in which MR layered product is formed. Form MR layered product on a lower gap layer, and the insulating gap layer by the insulator surrounding a lower gap layer and MR layered product is formed on an additional insulator layer at least. The manufacture approach of MR mold thin film magnetic head which forms the up gap layer of a nonmagnetic conductor on MR layered product and an insulating gap layer, and forms an up shielding layer on an up gap layer is offered.

[0022] Furthermore, according to this invention, it is the manufacture approach of MR mold thin film magnetic head which equipped the laminating side with MR layered product to which a current flows perpendicularly. Form a lower shielding layer and the lower gap layer of a nonmagnetic conductor is formed on the lower shielding layer of the location in which MR layered product is formed. Form MR layered product on a lower gap layer, and the insulating gap layer by the insulator surrounding a lower gap layer and MR layered product is formed on a lower shielding layer. The manufacture approach of MR mold thin film magnetic head which forms an additional insulator layer on an insulating gap layer in the location in which MR layered product is not formed, forms the up gap layer of a nonmagnetic conductor on MR layered product and an additional insulator layer, and forms an up shielding layer on an up gap layer is offered.

[0023] It is the manufacture approach of MR mold thin film magnetic head which equipped the laminating side with MR layered product to which a current flows perpendicularly further again according to this invention. A crevice is formed in a part of lower shielding layer in the location in which a lower shielding layer is formed in and MR layered product is not formed. Form the insulator layer of the 1st addition in the formed crevice, and the lower gap layer of a nonmagnetic conductor is formed on the lower shielding layer of the location in which MR layered product is formed. Form MR layered product on a lower gap layer, and the insulating gap layer by the insulator surrounding a lower gap layer and MR layered product is formed on the insulator layer of the 1st addition at least. In the location in which MR layered product is not formed, the insulator layer of the 2nd addition is formed on an insulating gap layer. The manufacture approach of MR mold thin film magnetic head which forms the up gap layer of a nonmagnetic conductor on MR layered product and the insulator layer of the 2nd addition, and forms an up shielding layer on an up gap layer is offered.

[0024] It is desirable that it is the TMR layered product which MR layered product equipped with the tunnel barrier layer and the ferromagnetic thin membrane layer of the pair whose tunnel barrier layer of this is pinched, or is the CPP-GMR layered product equipped with the non-magnetic metal layer and the ferromagnetic thin membrane layer of the pair whose non-magnetic metal layer of this is pinched.

[0025]

[Embodiment of the Invention] drawing 7 — as the 1st operation gestalt of this invention — MR height or the lower shielding layer of the TMR mold thin film magnetic head before throat height polish processing, an up shielding layer, and a lead — a conductor — it is the top view showing the configuration of a part roughly, drawing 8 is the A-A line sectional view of drawing 7, and drawing 9 is the B-B line sectional view of drawing 7. In addition, the lead connected with a lower shielding layer and an up shielding layer in drawing 7 at these — only a conductor and a terminal electrode are expressed, illustration is omitted and, as for

others, illustration of the layer above the Kamitaira side of an up shielding layer is omitted by drawing 8 and drawing 9.

[0026] The lower shielding layer of the electrode combination by which laminating formation was carried out in these drawings on the substrate which 70 does not illustrate. The lower gap layer of the electrode combination by the nonmagnetic conductor by which laminating formation was carried out by flowing through 71 electrically with this lower shielding layer 70 on the lower shielding layer 70. The TMR layered product by which the laminating of 72 was carried out on the lower gap layer 71, and patterning formation was carried out. The up gap layer of the electrode combination by the nonmagnetic conductor with which laminating formation of 73 was carried out on the TMR layered product 72 at least. The up shielding layer of the electrode combination by which laminating formation was carried out by flowing through 74 electrically with this up gap layer 73 on the up gap layer 73. The hard bias layer which 75 gives the bias field for magnetic-domain control. The crevice in which 76 was formed from the top face of the lower shielding layer 70 in the location where the TMR layered product 72 does not exist. The insulator layer of the addition which 77 embedded the insulator ingredient in the crevice 76, and was formed. The insulating gap layer by the insulator formed by 78 enclosing the lower gap layer 71 and the TMR layered product 72 on the additional insulator layer 77 and the lower shielding layer 70. The 1st insulator layer by which 79 was formed in the outside of the lower shielding layer 70, and the 2nd insulator layer which 80 is on the insulating gap layer 78, and was formed in the outside of the up gap layer 73 and the up shielding layer 74 are shown, respectively.

[0027] the 1st beer hall where the end was further connected electrically [ 81 ] in the lower shielding layer 70 in drawing 7 — a conductor — 82 — an end — the 1st beer hall — the 1st lead electrically connected to the other end of a conductor 81 — a conductor — 83 — the 1st lead — the 1st terminal electrode (connection pad) to which the other end of a conductor 82 was connected electrically — the 2nd lead to which the end was connected electrically [ 84 ] in the up shielding layer 74 — a conductor — 85 — an end — the 2nd lead — the 2nd beer hall electrically connected to the other end of a conductor 84 — a conductor — 86 — an end — the 2nd beer hall — the 3rd lead electrically connected to the other end of a conductor 85 — a conductor and 87 — the 3rd lead — the 2nd terminal electrode (connection pad) to which the other end of a conductor 86 was connected electrically is shown, respectively.

[0028] Although the TMR layered product 72 is not shown in drawing, it has multilayer structure which contains a fundamental layer called an antiferromagnetism thin film layer, a lower ferromagnetism thin membrane layer (pinned layer), a tunnel barrier layer, and an up ferromagnetism thin membrane layer (free layer) at least.

[0029] Fundamentally, the up ferromagnetism thin membrane layer (free layer) is constituted so that an external magnetic field may be answered and the sense of magnetization may change freely, and the lower ferromagnetism thin membrane layer (pinned layer) is constituted so that the magnetization direction may be suitable in the predetermined direction with the switched connection bias field between antiferromagnetism thin film layers.

[0030] The lower shielding layer 70 and the up shielding layer 74 consist of monolayer structure or multilayer structure, such as NiFe (permalloy), Sendust, CoFe, CoFeNi, or CoZrNb. 0.5–4 micrometers of thickness are 1–3 micrometers preferably.

[0031] The lower gap layer 71 and the up gap layer 73 consist of a nonmagnetic conductor ingredient, for example, Ta, Cu, aluminum, Ag, Au, Ti, TiW, Rh, Cr, In, Ir, Mg, Ru, W, and Zn, PtMn, RuRhMn(s), or those alloys. 5–70nm of thickness is 10–50nm preferably.

[0032] As for the lower ferromagnetism thin membrane layer (pinned layer) and up ferromagnetism thin membrane layer (free layer) in the TMR layered product 72, constituting from a high spin polarization ingredient is desirable, for example, monolayer structure or multilayer structure, such as Fe, Co, nickel, CoFe, NiFe, CoZrNb, or CoFeNi, are used. 1–10nm of thickness of a lower ferromagnetism thin membrane layer (pinned layer) is 2–5nm preferably. If this thickness becomes thick too much, switched connection bias magnetization with an antiferromagnetism thin film layer will become weaker, and if thickness becomes thin too much, TMR rate of change will decrease. 2–50nm of thickness of an up ferromagnetism thin membrane layer (free layer) is 4–30nm preferably. If this thickness becomes thick too much, the output at the time of head actuation will decline, and the instability of an output will increase according to a Barkhausen noise etc., and if thickness becomes thin too much, the loss of power resulting from degradation of the TMR effectiveness will arise.

[0033] The tunnel barrier layer in the TMR layered product 72 consists of aluminum 2O3, NiO, GdO, MgO and Ta 2O5, MoO2 and TiO2, or WO2 grade. Thickness is about 0.5–2nm. Although a thing thin as much as possible is desirable from a viewpoint of low-resistance-value-izing of a component, the thickness of this tunnel barrier layer is too thin not much, and since leakage current will flow if a pinhole is generated, it is not desirable.

[0034] Although the antiferromagnetism thin film layer in the TMR layered product 72 consists of PtMn and RuRhMn, other common antiferromagnetism ingredients can also be used for it. Thickness is about 6–30nm.

[0035] Generally the additional insulator layer 77, the insulating gap layer 78, the 1st insulator layer 79, and the 2nd insulator layer 80 consist of aluminum 2O3.

[0036] the 1st and 2nd beer halls — conductors 81 and 85 and the 1st, 2nd, and 3rd leads — the 1st and 2nd terminal electrodes (connection pad) 83 and 87 are constituted from Cu, aluminum, Au, or Ag by conductors 82, 84, and 86 and the list. however, the 2nd lead to which the end is electrically connected to the up shielding layer 74 — a conductor 84 may be formed with the same ingredient as this up shielding layer 74.

[0037] a crevice 76 be establish in the lower shielding layer 70 in the location where the MR layered product 72 do not exist, and the important point in this operation gestalt be constitute so that the distance between the lower shielding layer 70 and the up gap layer 73 may increase substantially by embed the additional insulator layer 77 in it. Consequently, since the capacitance CShield between a lower shielding layer and an up shielding layer becomes small, the frequency characteristics of the thin film magnetic head improve remarkably.

[0038] S= 10230 micrometers of area of the part which has the potential of the up shielding layer 74 which is shown in drawing 7, and which solves and is located on the lower shielding layer 70 in the case of the 1st operation gestalt, i.e., the electrode surface product which functions as a capacitor, was 2 (calculated value by CAD), the capacitance between the lower shielding layer 70 and the up shielding layer 74 was CShield=5.2pF, and the cut off frequency fc was fc=235MHz. However, the distance between the lower shielding layer 70 and the up shielding layer 74 is 110nm, among those the thickness of the insulating gap layer 78 by aluminum 2O3 is 52nm, and resistance of the TMR head in which the depth of a crevice 76 is 150nm and the thickness of 150nm, therefore the additional insulator layer 77 also contains lead wire is RHGA=130ohm. In addition, even if the capacitance CShield between shielding layers and a cut off frequency fc survey and it asks for them by count, they are mostly in agreement. For example, a cut off frequency fc is computable from  $fc=1/(2\pi RHGACShield)$ . The TMR layered product the TMR head used for measurement or count as a substrate layer NiCr (3nm), As an antiferromagnetism thin film layer, as PtMn (14nm) and a lower ferromagnetism thin membrane layer (pinned layer) CoFe (2nm) / Ru (0.8nm) / CoFe (2nm), It has the configuration

which carried out the laminating of the NiCr (3nm) one by one as CoFe(2nm)/NiFe (4nm) and a cap layer as AlOx and an up ferromagnetism thin membrane layer (free layer) as a tunnel barrier layer.

[0039] On the other hand, in the case of the conventional technique in which the additional insulator layer 77 is not formed, it was CShield=10.2pF and was  $f_c=120\text{MHz}$ . Therefore, according to this operation gestalt, since CShield becomes quite smaller than the conventional technique, the frequency characteristics of the thin film magnetic head improve remarkably.

[0040] Drawing 10 and drawing 11 are the sectional views explaining a part of production process of the TMR mold thin film magnetic head in the 1st operation gestalt, and explain the manufacture approach of the TMR mold thin film magnetic head of this operation gestalt using these drawings below.

[0041] First, as shown in drawing 10 (A), patterning of the lower shielding layer 70 is formed and carried out. subsequently, as shown in drawing 10 (B), the insulator layer by aluminum 2O3 is formed on it, flattening of the front face is carried out by performing CMP processing, and it is shown in drawing 10 (C) — the time — the 1st — the insulator layer 79 is formed.

[0042] Subsequently, by applying and carrying out patterning of the resist ingredient on it, it comes, whenever it is shown in drawing 10 (D) in which a part of lower shielding layer 70 in the location where the TMR layered product 72 does not exist carried out opening, and a resist pattern 100 is formed. Subsequently, by performing ion milling through this resist pattern 100, as shown in drawing 10 (E), a crevice 76 is formed in the lower shielding layer 70 in the location where the TMR layered product 72 does not exist.

[0043] Subsequently, as shown in drawing 10 (F), after forming the insulator layer by aluminum 2O3 on it, as shown in drawing 10 (G), lift-off processing is performed and a resist pattern 100 and the unnecessary insulator layer on it are removed.

Subsequently, by performing CMP processing, flattening of the front face is carried out, and as shown in drawing 10 (H), the insulator layer 77 of the addition embedded in the crevice 76 is obtained.

[0044] Then, as shown in drawing 11 (A), the TMR layered product 72 is formed the lower gap layer 71 and on it in the predetermined location of the lower shielding layer 70. Subsequently, as shown in drawing 11 (B), patterning of the TMR layered product 72 is carried out, a joint etc. is formed, and the insulating gap layer 78 by aluminum 2O3 is formed on the lower gap layer 71 and the lower shielding layer 70 of the outside of the TMR layered product 72, the additional insulator layer 77, and the 1st insulator layer 79.

[0045] Subsequently, after forming the hard magnet layer 75 (drawing 8), as shown in drawing 11 (C), while forming the up gap layer 73 and the up shielding layer 74 on the TMR layered product 72, the 2nd insulator layer 80 by aluminum 2O3 is formed on the insulating gap layer 78 of the outside of these up gap layer 73 and the up shielding layer 74.

[0046] drawing 12 — as the 2nd operation gestalt of this invention — MR height or the lower shielding layer of the TMR mold thin film magnetic head before throat height polish processing, an up shielding layer, and a lead — a conductor — it is the top view showing the configuration of a part roughly, drawing 13 is the A-A line sectional view of drawing 12, and drawing 14 is the B-B line sectional view of drawing 12. in addition, the lead connected with a lower shielding layer and an up shielding layer in drawing 12 at these — only a conductor and a terminal electrode are expressed, illustration is omitted and, as for others, illustration of the layer above the Kamitaira side of an up shielding layer is omitted by drawing 13 and drawing 14.

[0047] This 2nd operation gestalt differs from the case of the 1st operation gestalt in that the insulator layer of the addition which increases the distance between the lower shielding layer 70 and the up gap layer 123 is formed as a lower layer of the up gap layer 123. The structure of others of this operation gestalt is completely the same as the 1st operation gestalt. Therefore, in drawing 12 — drawing 14, the same reference mark is given to the component equivalent to drawing 7 — drawing 9.

[0048] The lower shielding layer of the electrode combination by which laminating formation was carried out in drawing 12 — drawing 14 on the substrate which 70 does not illustrate. The lower gap layer of the electrode combination by the nonmagnetic conductor by which laminating formation was carried out by flowing through 71 electrically with this lower shielding layer 70 on the lower shielding layer 70. The TMR layered product by which the laminating of 72 was carried out on the lower gap layer 71, and patterning formation was carried out. The up gap layer of the electrode combination by the nonmagnetic conductor with which laminating formation of 123 was carried out on the TMR layered product 72 and the additional insulator layer 127. The up shielding layer of the electrode combination by which laminating formation was carried out by flowing through 124 electrically with this up gap layer 123 on the up gap layer 123. The hard bias layer which 75 gives the bias field for magnetic-domain control. The insulating gap layer by the insulator formed by 78 enclosing the lower gap layer 71 and the TMR layered product 72 on the lower shielding layer 70. The insulator layer of the addition by which 127 was formed on the insulating gap layer 78 in the location where the TMR layered product 72 does not exist. The 1st insulator layer by which 79 was formed in the outside of the lower shielding layer 70, and the 2nd insulator layer which 80 is on the insulating gap layer 78, and was formed in the outside of the up gap layer 123 and the up shielding layer 124 are shown, respectively.

[0049] the 1st beer hall where the end was further connected electrically [ 81 ] in the lower shielding layer 70 in drawing 12 — a conductor — 82 — an end — the 1st beer hall — the 1st lead electrically connected to the other end of a conductor 81 — a conductor — 83 — the 1st lead — the 1st terminal electrode (connection pad) to which the other end of a conductor 82 was connected electrically — the 2nd lead to which the end was connected electrically [ 84 ] in the up shielding layer 124 — a conductor — 85 — an end — the 2nd beer hall electrically connected to the other end of a conductor 84 — a conductor — 86 — an end — the 2nd beer hall — the 3rd lead electrically connected to the other end of a conductor 85 — a conductor and 87 — the 3rd lead — the 2nd terminal electrode (connection pad) to which the other end of a conductor 86 was connected electrically is shown, respectively.

[0050] Although the TMR layered product 72 is not shown in drawing, it has multilayer structure which contains a fundamental layer called an antiferromagnetism thin film layer, a lower ferromagnetism thin membrane layer (pinned layer), a tunnel barrier layer, and an up ferromagnetism thin membrane layer (free layer) at least.

[0051] Fundamentally, the up ferromagnetism thin membrane layer (free layer) is constituted so that an external magnetic field may be answered and the sense of magnetization may change freely, and the lower ferromagnetism thin membrane layer (pinned layer) is constituted so that the magnetization direction may be suitable in the predetermined direction with the switched connection bias field between antiferromagnetism thin film layers.

[0052] The lower shielding layer 70 and the up shielding layer 124 consist of monolayer structure or multilayer structure, such as NiFe (permalloy), Sendust, CoFe, CoFeNi, or CoZrNb. 0.5–4 micrometers of thickness are 1–3 micrometers preferably.

[0053] The lower gap layer 71 and the up gap layer 123 consist of a nonmagnetic conductor ingredient, for example, Ta, Cu, aluminum, Ag, Au, Ti, TiW, Rh, Cr, In, Ir, Mg, Ru, W, and Zn, PtMn, RuRhMn(s), or those alloys. 5–70nm of thickness is 10–50nm preferably.

[0054] As for the lower ferromagnetism thin membrane layer (pinned layer) and up ferromagnetism thin membrane layer (free



layer) in the TMR layered product 72, constituting from a high spin polarization ingredient is desirable, for example, monolayer structure or multilayer structure, such as Fe, Co, nickel, CoFe, NiFe, CoZrNb, or CoFeNi, are used. 1-10nm of thickness of a lower ferromagnetism thin membrane layer (pinned layer) is 2-5nm preferably. If this thickness becomes thick too much, switched connection bias magnetization with an antiferromagnetism thin film layer will become weaker, and if thickness becomes thin too much, TMR rate of change will decrease. 2-50nm of thickness of an up ferromagnetism thin membrane layer (free layer) is 4-30nm preferably. If this thickness becomes thick too much, the output at the time of head actuation will decline, and the instability of an output will increase according to a Barkhausen noise etc., and if thickness becomes thin too much, the loss of power resulting from degradation of the TMR effectiveness will arise.

[0055] The tunnel barrier layer in the TMR layered product 72 consists of aluminum 2O<sub>3</sub>, NiO, GdO, MgO and Ta 2O<sub>5</sub>, MoO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>, or WO<sub>2</sub> grade. Thickness is about 0.5-2nm. Although a thing thin as much as possible is desirable from a viewpoint of low-resistance-value-izing of a component, the thickness of this tunnel barrier layer is too thin not much, and since leakage current will flow if a pinhole is generated, it is not desirable.

[0056] Although the antiferromagnetism thin film layer in the TMR layered product 72 consists of PtMn and RuRhMn, other common antiferromagnetism ingredients can also be used for it. Thickness is about 6-30nm.

[0057] Generally the additional insulator layer 127, the insulating gap layer 78, the 1st insulator layer 79, and the 2nd insulator layer 80 consist of aluminum 2O<sub>3</sub>.

[0058] the 1st and 2nd beer halls — conductors 81 and 85 and the 1st, 2nd, and 3rd leads — the 1st and 2nd terminal electrodes (connection pad) 83 and 87 are constituted from Cu, aluminum, Au, or Ag by conductors 82, 84, and 86 and the list. however, the 2nd lead to which the end is electrically connected to the up shielding layer 124 — a conductor 84 may be formed with the same ingredient as this up shielding layer 124.

[0059] the important point in this operation gestalt be constitute so that the distance between the lower shielding layer 70 and the up gap layer 123 may increase substantially by form the additional insulator layer 127 on the insulating gap layer 78 in the location where the MR layered product 72 do not exist. Consequently, since the capacitance C<sub>Shield</sub> between a lower shielding layer and an up shielding layer becomes small, the frequency characteristics of the thin film magnetic head improve remarkably.

[0060] S= 10230 micrometers of area of the part which has the potential of the up shielding layer 124 which is shown in drawing 12, and which solves and is located on the lower shielding layer 70 in the case of the 2nd operation gestalt, i.e., the electrode surface product which functions as a capacitor, was 2 (calculated value by CAD), the capacitance between the lower shielding layer 70 and the up shielding layer 124 was C<sub>Shield</sub>=5.2pF, and the cut off frequency f<sub>c</sub> was f<sub>c</sub>=235MHz. However, the distance between the lower shielding layer 70 and the up shielding layer 124 is 110nm, among those the thickness of the insulating gap layer 78 by aluminum 2O<sub>3</sub> is 52nm, the thickness of the additional insulator layer 127 is 150nm, and resistance of the TMR head containing lead wire is RHGA=130ohm. Since in the case of the conventional technique in which the additional insulator layer 127 is not formed it is C<sub>Shield</sub>=10.2pF and is f<sub>c</sub>=120MHz, according to this operation gestalt, C<sub>Shield</sub> will become quite smaller than the conventional technique, and the frequency characteristics of the thin film magnetic head improve remarkably.

[0061] It is the same as that of the case of the 1st operation gestalt mentioned above about structure, an ingredient, thickness, the operation effectiveness, a modification mode, etc. of others in this 2nd operation gestalt.

[0062] Drawing 15 is a sectional view explaining a part of production process of the TMR mold thin film magnetic head in the 2nd operation gestalt, and explains the manufacture approach of the TMR mold thin film magnetic head of this operation gestalt using this drawing below.

[0063] First, as shown in drawing 15 (A), patterning of the lower shielding layer 70 is formed and carried out. subsequently, as shown in drawing 15 (B), the insulator layer by aluminum 2O<sub>3</sub> is formed on it, flattening of the front face is carried out by performing CMP processing, and it is shown in drawing 15 (C) — the time — the 1st — the insulator layer 79 is formed.

[0064] Subsequently, as shown in drawing 15 (D), the lower gap layer 71 is formed in the lower shielding layer 70, and the TMR layered product 72 is formed in the predetermined location on it. Subsequently, as shown in drawing 15 (E), patterning of the TMR layered product 72 is carried out, a joint etc. is formed, and the insulating gap layer 78 by aluminum 2O<sub>3</sub> is formed on the lower gap layer 71 of the outside of the TMR layered product 72, and the 1st insulator layer 79.

[0065] Subsequently, after forming the hard magnet layer 75 (drawing 13), by applying and carrying out patterning of the resist ingredient on it, it comes, whenever it is shown in drawing 15 (F) in which a part of insulating gap layer 78 in the location where the TMR layered product 72 does not exist carried out opening, and a resist pattern 150 is formed.

[0066] Subsequently, as shown in drawing 15 (G), after forming the insulator layer by aluminum 2O<sub>3</sub> on it, as shown in drawing 15 (H), lift-off processing is performed and a resist pattern 150 and the unnecessary insulator layer on it are removed. The insulator layer 127 of the addition formed by this on the insulating gap layer 78 in the location where the TMR layered product 72 does not exist is obtained.

[0067] Then, as shown in drawing 15 (I), while forming the up gap layer 123 and the up shielding layer 124 on the TMR layered product 72 and the additional insulator layer 127, the 2nd insulator layer 80 by aluminum 2O<sub>3</sub> is formed on the insulating gap layer 78 of the outside of these up gap layer 123 and the up shielding layer 124, and the additional insulator layer 127.

[0068] drawing 16 — as the 3rd operation gestalt of this invention — MR height or the lower shielding layer of the TMR mold thin film magnetic head before throat height polish processing, an up shielding layer, and a lead — a conductor — it is the top view showing the configuration of a part roughly, drawing 17 is the A-A line sectional view of drawing 16, and drawing 18 is the B-B line sectional view of drawing 16. in addition, the lead connected with a lower shielding layer and an up shielding layer in drawing 16 at these — only a conductor and a terminal electrode are expressed, illustration is omitted and, as for others, illustration of the layer above the Kamitaira side of an up shielding layer is omitted by drawing 17 and drawing 18.

[0069] This 3rd operation gestalt combines the configuration of the 1st operation gestalt mentioned above and the 2nd operation gestalt. The structure of others of this operation gestalt is completely the same as the 1st and 2nd operation gestalten. Therefore, in drawing 16 - drawing 18, the same reference mark is given to the component equivalent to drawing 7 - drawing 9 and drawing 12 - drawing 14.

[0070] The lower shielding layer of the electrode combination by which laminating formation was carried out in drawing 16 - drawing 18 on the substrate which 70 does not illustrate. The lower gap layer of the electrode combination by the nonmagnetic conductor by which laminating formation was carried out by flowing through 71 electrically with this lower shielding layer 70 on the lower shielding layer 70. The TMR layered product by which the laminating of 72 was carried out on the lower gap layer 71, and patterning formation was carried out. The up gap layer of the electrode combination by the nonmagnetic conductor with which laminating formation of 123 was carried out on the TMR layered product 72 and the additional insulator layer 127. The up shielding layer of the electrode combination by which laminating formation was carried out by flowing through 124 electrically with



this up gap layer 123 on the up gap layer 123, The hard bias layer which 75 gives the bias field for magnetic-domain control, The crevice in which 76 was formed from the top face of the lower shielding layer 70 in the location where the TMR layered product 72 does not exist, The insulator layer of the 1st addition which 77 embedded the insulator ingredient in the crevice 76, and was formed, The insulating gap layer by the insulator formed by 78 enclosing the lower gap layer 71 and the TMR layered product 72 on the lower shielding layer 70, The insulator layer of the 2nd addition by which 127 was formed on the insulating gap layer 78 in the location where the TMR layered product 72 does not exist, The 1st insulator layer by which 79 was formed in the outside of the lower shielding layer 70, and the 2nd insulator layer which 80 is on the insulating gap layer 78, and was formed in the outside of the up gap layer 123 and the up shielding layer 124 are shown, respectively.

[0071] the 1st beer hall where the end was further connected electrically [ 81 ] in the lower shielding layer 70 in drawing 16 — a conductor — 82 — an end — the 1st beer hall — the 1st lead electrically connected to the other end of a conductor 81 — a conductor — 83 — the 1st lead — the 1st terminal electrode (connection pad) to which the other end of a conductor 82 was connected electrically — the 2nd lead to which the end was connected electrically [ 84 ] in the up shielding layer 124 — a conductor — 85 — an end — the 2nd lead — the 2nd beer hall electrically connected to the other end of a conductor 84 — a conductor — 86 — an end — the 2nd beer hall — the 3rd lead electrically connected to the other end of a conductor 85 — a conductor and 87 — the 3rd lead — the 2nd terminal electrode (connection pad) to which the other end of a conductor 86 was connected electrically is shown, respectively.

[0072] Although the TMR layered product 72 is not shown in drawing, it has multilayer structure which contains a fundamental layer called an antiferromagnetism thin film layer, a lower ferromagnetism thin membrane layer (pinned layer), a tunnel barrier layer, and an up ferromagnetism thin membrane layer (free layer) at least.

[0073] Fundamentally, the up ferromagnetism thin membrane layer (free layer) is constituted so that an external magnetic field may be answered and the sense of magnetization may change freely, and the lower ferromagnetism thin membrane layer (pinned layer) is constituted so that the magnetization direction may be suitable in the predetermined direction with the switched connection bias field between antiferromagnetism thin film layers.

[0074] The lower shielding layer 70 and the up shielding layer 124 consist of monolayer structure or multilayer structure, such as NiFe (permalloy), Sendust, CoFe, CoFeNi, or CoZrNb. 0.5-4 micrometers of thickness are 1-3 micrometers preferably.

[0075] The lower gap layer 71 and the up gap layer 123 consist of a nonmagnetic conductor ingredient, for example, Ta, Cu, aluminum, Ag, Au, Ti, TiW, Rh, Cr, In, Ir, Mg, Ru, W, and Zn, PtMn, RuRhMn(s), or those alloys. 5-70nm of thickness is 10-50nm preferably.

[0076] As for the lower ferromagnetism thin membrane layer (pinned layer) and up ferromagnetism thin membrane layer (free layer) in the TMR layered product 72, constituting from a high spin polarization ingredient is desirable, for example, monolayer structure or multilayer structure, such as Fe, Co, nickel, CoFe, NiFe, CoZrNb, or CoFeNi, are used. 1-10nm of thickness of a lower ferromagnetism thin membrane layer (pinned layer) is 2-5nm preferably. If this thickness becomes thick too much, switched connection bias magnetization with an antiferromagnetism thin film layer will become weaker, and if thickness becomes thin too much, TMR rate of change will decrease. 2-50nm of thickness of an up ferromagnetism thin membrane layer (free layer) is 4-30nm preferably. If this thickness becomes thick too much, the output at the time of head actuation will decline, and the instability of an output will increase according to a Barkhausen noise etc., and if thickness becomes thin too much, the loss of power resulting from degradation of the TMR effectiveness will arise.

[0077] The tunnel barrier layer in the TMR layered product 72 consists of aluminum 2O3, NiO, GdO, MgO and Ta 2O5, MoO2 and TiO2, or WO2 grade. Thickness is about 0.5-2nm. Although a thing thin as much as possible is desirable from a viewpoint of low-resistance-value-izing of a component, the thickness of this tunnel barrier layer is too thin not much, and since leakage current will flow if a pinhole is generated, it is not desirable.

[0078] Although the antiferromagnetism thin film layer in the TMR layered product 72 consists of PtMn and RuRhMn, other common antiferromagnetism ingredients can also be used for it. Thickness is about 6-30nm.

[0079] Generally the 1st and the insulator layers 77 and 127 of the 2nd addition, the insulating gap layer 78, the 1st insulator layer 79, and the 2nd insulator layer 80 consist of aluminum 2O3.

[0080] the 1st and 2nd beer halls — conductors 81 and 85 and the 1st, 2nd, and 3rd leads — the 1st and 2nd terminal electrodes (connection pad) 83 and 87 are constituted from Cu, aluminum, Au, or Ag by conductors 82, 84, and 86 and the list. however, the 2nd lead to which the end is electrically connected to the up shielding layer 124 — a conductor 84 may be formed with the same ingredient as this up shielding layer 124.

[0081] In the location where the MR layered product 72 does not exist, as for the important point in this operation gestalt, a crevice 76 is established in the lower shielding layer 70, and the insulator layer 77 of the 1st addition is embedded into it, It is in the point constituted so that the distance between the lower shielding layer 70 and the up gap layer 123 may increase considerably substantially by forming the insulator layer 127 of the 2nd addition on the insulating gap layer 78 in the location where the MR layered product 72 does not exist in a list. Consequently, since the capacitance CShield between a lower shielding layer and an up shielding layer becomes small, the frequency characteristics of the thin film magnetic head improve remarkably.

[0082] S=10230 micrometers of area of the part which has the potential of the up shielding layer 124 which is shown in drawing 16, and which solves and is located on the lower shielding layer 70 in the case of the 3rd operation gestalt, i.e., the electrode surface product which functions as a capacitor, was 2 (calculated value by CAD), the capacitance between the lower shielding layer 70 and the up shielding layer 124 was CShield=4.4pF, and the cut off frequency fc was fc=278MHz. However, the distance between the lower shielding layer 70 and the up shielding layer 124 is 110nm, among those the thickness of the insulating gap layer 78 by aluminum 2O3 is 52nm, the thickness of the insulator layer 77 of the 1st addition is 150nm, and resistance of the TMR head in which the thickness of the insulator layer 127 of the 2nd addition is also 150nm, and contains lead wire is RHGA=130ohm. Since in the case of the conventional technique in which the additional insulator layers 77 and 127 are not formed it is CShield=10.2pF and is fc=120MHz, according to this operation gestalt, CShield will become small sharply from the conventional technique, and the frequency characteristics of the thin film magnetic head improve remarkably.

[0083] It is the same as that of the case of the 1st operation gestalt mentioned above and the 2nd operation gestalt about structure, an ingredient, thickness, the operation effectiveness, a modification mode, etc. of others in this 3rd operation gestalt.

[0084] Drawing 19 and drawing 20 are the sectional views explaining a part of production process of the TMR mold thin film magnetic head in the 3rd operation gestalt, and explain the manufacture approach of the TMR mold thin film magnetic head of this operation gestalt using these drawings below.

[0085] First, as shown in drawing 19 (A), patterning of the lower shielding layer 70 is formed and carried out. subsequently, as shown in drawing 19 (B), the insulator layer by aluminum 2O3 is formed on it, flattening of the front face is carried out by

performing CMP processing, and it is shown in drawing 19 (C) -- the time -- the 1st -- the insulator layer 79 is formed.

[0086] Subsequently, by applying and carrying out patterning of the resist ingredient on it, it comes, whenever it is shown in drawing 19 (D) in which a part of lower shielding layer 70 in the location where the TMR layered product 72 does not exist carried out opening, and a resist pattern 100 is formed. Subsequently, by performing ion milling through this resist pattern 100, as shown in drawing 19 (E), a crevice 76 is formed in the lower shielding layer 70 in the location where the TMR layered product 72 does not exist.

[0087] Subsequently, as shown in drawing 19 (F), after forming the insulator layer by aluminum 2O3 on it, as shown in drawing 19 (G), lift-off processing is performed and a resist pattern 100 and the unnecessary insulator layer on it are removed. Subsequently, by performing CMP processing, flattening of the front face is carried out, and as shown in drawing 19 (H), the insulator layer 77 of the addition embedded in the crevice 76 is obtained.

[0088] Then, as shown in drawing 20 (A), the TMR layered product 72 is formed the lower gap layer 71 and on it in the predetermined location of the lower shielding layer 70. Subsequently, as shown in drawing 20 (B), patterning of the TMR layered product 72 is carried out, a joint etc. is formed, and the insulating gap layer 78 by aluminum 2O3 is formed on the lower gap layer 71 and the lower shielding layer 70 of the outside of the TMR layered product 72, the insulator layer 77 of the 1st addition, and the 1st insulator layer 79.

[0089] Subsequently, after forming the hard magnet layer 75 ( drawing 17 ), by applying and carrying out patterning of the resist ingredient on it, it comes, whenever it is shown in drawing 20 (C) in which a part of insulating gap layer 78 in the location where the TMR layered product 72 does not exist carried out opening, and a resist pattern 150 is formed.

[0090] Subsequently, as shown in drawing 20 (D), after forming the insulator layer by aluminum 2O3 on it, as shown in drawing 20 (E), lift-off processing is performed and a resist pattern 150 and the unnecessary insulator layer on it are removed. The insulator layer 127 of the 2nd addition formed by this on the insulating gap layer 78 in the location where the TMR layered product 72 does not exist is obtained.

[0091] Then, as shown in drawing 20 (F), while forming the up gap layer 123 and the up shielding layer 124 on the TMR layered product 72 and the insulator layer 127 of the 2nd addition, the 2nd insulator layer 80 by aluminum 2O3 is formed on the insulating gap layer 78 of the outside of these up gap layer 123 and the up shielding layer 124, and the insulator layer 127 of the 2nd addition.

[0092] the 2nd lead in each operation gestalt mentioned above -- a conductor 84 and the 2nd beer hall -- about a conductor 85, if patterning is carried out so that the area of the part located on those lower shielding layers may become small, the capacitance CShield between a lower shielding layer and an up shielding layer can be made smaller, and the frequency characteristics of the thin film magnetic head can be raised more.

[0093] Furthermore, in each operation gestalt mentioned above, although the insulating gap layer 78 and the additional insulator layer 77,127 are formed with aluminum 2O3 By constituting all or a part of these parts from an insulating material 4 with a dielectric constant lower than aluminum 2O3, for example, Si3N, Co-gamma Fe 2O3 (hematite), or SiO2 It is possible to be able to reduce the capacitance CShield between shielding layers further, and to raise the frequency characteristics of the thin film magnetic head more.

[0094] If it constitutes so that the thickness of the insulating gap layer 78 may become large, when only the part in which thickness of TMR layered product 72 the very thing in each operation gestalt mentioned above is greatly carried out further again, or the TMR layered product 72 is formed thickens the lower gap layer 71, the capacitance CShield between shielding layers can be reduced further, and it will become possible to raise the frequency characteristics of the thin film magnetic head more.

[0095] In the operation gestalt described above, although the TMR layered product which has one kind of structure is used, this invention is applicable also about the TMR layered product in a side with an antiferromagnetism layer far from a substrate, i.e., a top, and the other TMR components of various structures. Moreover, it is completely applicable similarly about the CPP-GMR head equipped with the CPP-GMR component of what kind of structure of passing not only a TMR head but a sense current to a laminating side and a perpendicular direction.

[0096] This invention cannot be shown in instantiation, and not all the operation gestalten described above can show it restrictively, and can carry out this invention in other various deformation modes and modification modes. Therefore, the range of this invention is specified by only a claim and its equal range.

[0097]

[Effect of the Invention] Since the additional insulator layer is formed according to this invention so that the distance between a lower shielding layer and an up gap layer may increase in the location where MR layered product does not exist as explained to the detail above, the capacitance CShield between a lower shielding layer and an up shielding layer becomes small. Consequently, the frequency characteristics of the thin film magnetic head improve remarkably.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

## [Brief Description of the Drawings]

- [Drawing 1] It is drawing which looked at the CIP-GMR component which has general structure from ABS.
- [Drawing 2] It is drawing which looked at the TMR component or CPP-GMR component which has general structure from ABS.
- [Drawing 3] It is the representative circuit schematic of a CIP-GMR component.
- [Drawing 4] It is the representative circuit schematic of a TMR component or a CPP-GMR component.
- [Drawing 5] In the equal circuit shown in drawing 4, it is drawing showing the opposite frequency characteristics of the magnitude of attenuation in case the capacitance between shielding layers is  $C_{Shield}=6pF$ .
- [Drawing 6] In the equal circuit shown in drawing 4, it is drawing showing the opposite frequency characteristics of the magnitude of attenuation in case the capacitance between shielding layers is  $C_{Shield}=1pF$ .
- [Drawing 7] as the 1st operation gestalt of this invention — the lower shielding layer of the TMR mold thin film magnetic head, an up shielding layer, and a lead — a conductor — it is the top view showing the configuration of a part roughly.
- [Drawing 8] It is the A-A line sectional view of drawing 7.
- [Drawing 9] It is the B-B line sectional view of drawing 7.
- [Drawing 10] It is a sectional view explaining a part of production process of the TMR mold thin film magnetic head in the 1st operation gestalt.
- [Drawing 11] It is a sectional view explaining a part of production process of the TMR mold thin film magnetic head in the 1st operation gestalt.
- [Drawing 12] as the 2nd operation gestalt of this invention — the lower shielding layer of the TMR mold thin film magnetic head, an up shielding layer, and a lead — a conductor — it is the top view showing the configuration of a part roughly.
- [Drawing 13] It is the A-A line sectional view of drawing 12.
- [Drawing 14] It is the B-B line sectional view of drawing 12.
- [Drawing 15] It is a sectional view explaining a part of production process of the TMR mold thin film magnetic head in the 2nd operation gestalt.
- [Drawing 16] as the 3rd operation gestalt of this invention — the lower shielding layer of the TMR mold thin film magnetic head, an up shielding layer, and a lead — a conductor — it is the top view showing the configuration of a part roughly.
- [Drawing 17] It is the A-A line sectional view of drawing 16 </A>.
- [Drawing 18] It is the B-B line sectional view of drawing 16.
- [Drawing 19] It is a sectional view explaining a part of production process of the TMR mold thin film magnetic head in the 3rd operation gestalt.
- [Drawing 20] It is a sectional view explaining a part of production process of the TMR mold thin film magnetic head in the 3rd operation gestalt.
- [Description of Notations]
- 70 Lower Shielding Layer
  - 71 Lower Gap Layer
  - 72 TMR Layered Product
  - 73,123 Up gap layer
  - 74,124 Up shielding layer
  - 75 Hard Bias Layer
  - 76 Crevice
  - 77,127 Additional insulator layer
  - 78 Insulating Gap Layer
  - 79 1st Insulator Layer
  - 80 2nd Insulator Layer
  - 81 1st Beer Hall — Conductor
  - 82 1st Lead — Conductor
  - 83 1st Terminal Electrode
  - 84 2nd Lead — Conductor
  - 85 2nd Beer Hall — Conductor
  - 86 3rd Lead — Conductor
  - 87 2nd Terminal Electrode
  - 100 150 Resist pattern layer

[Translation done.]

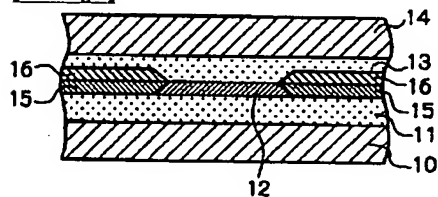
## \* NOTICES \*

JP0 and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

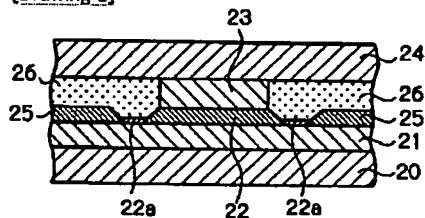
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

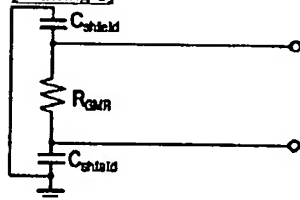
[Drawing 1]



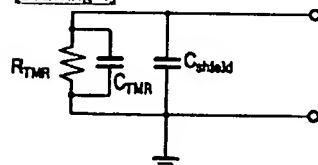
[Drawing 2]



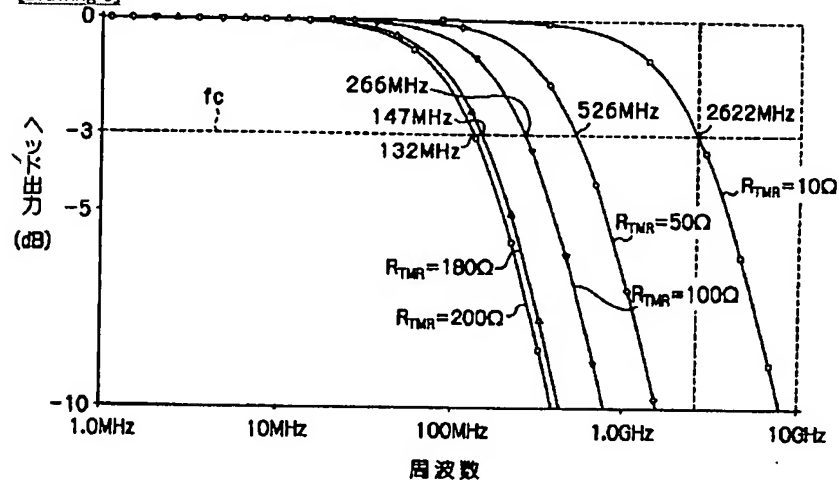
[Drawing 3]

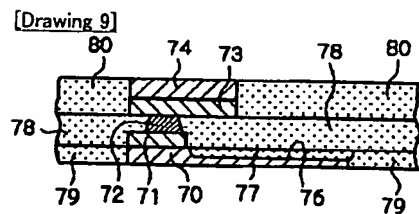
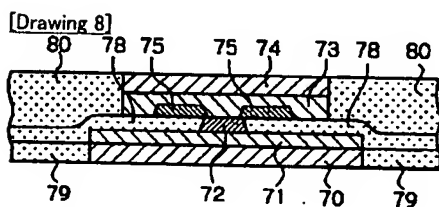
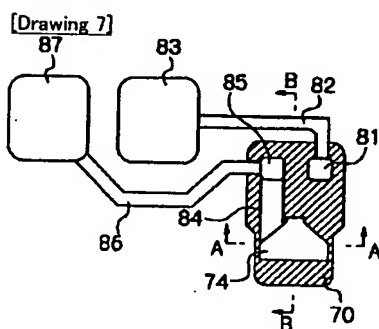
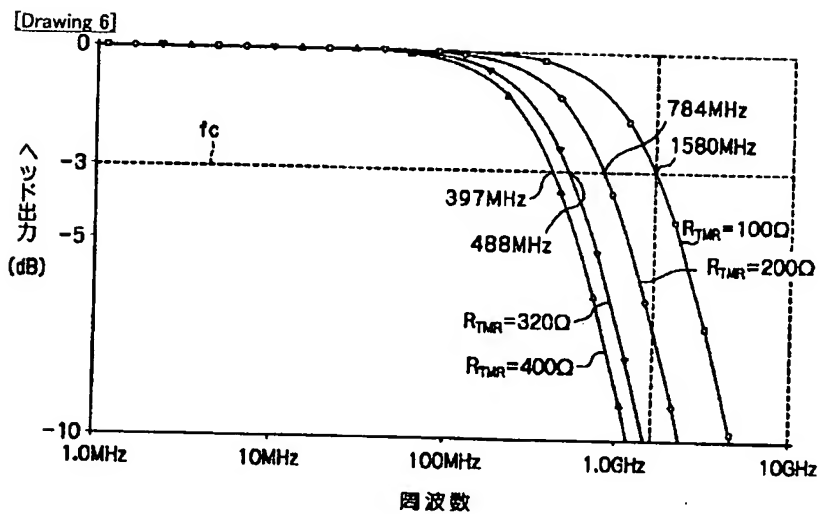


[Drawing 4]

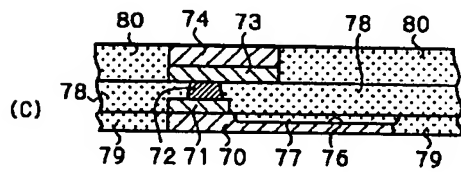
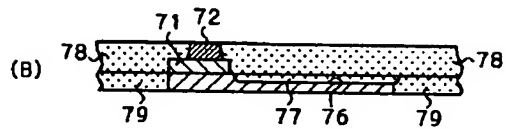
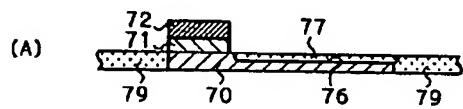


[Drawing 5]

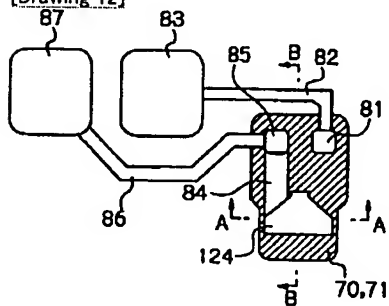




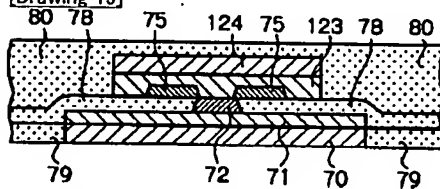
[Drawing 11]



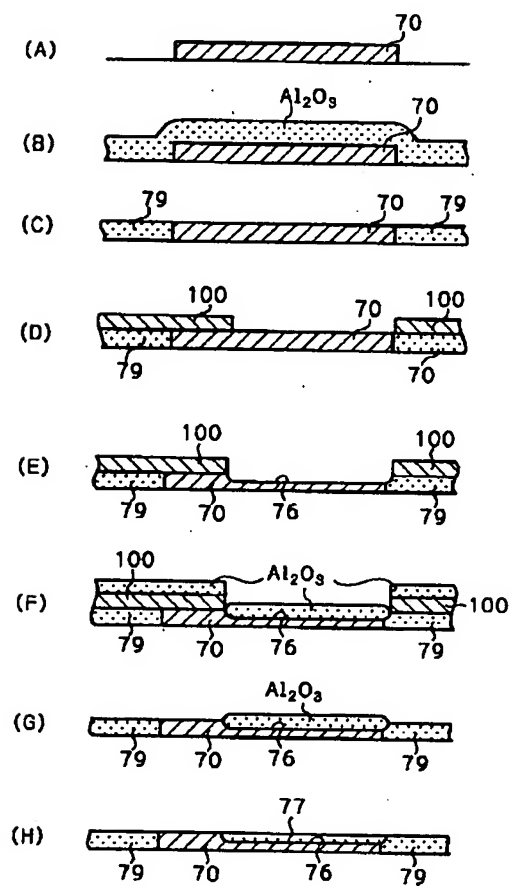
[Drawing 12]



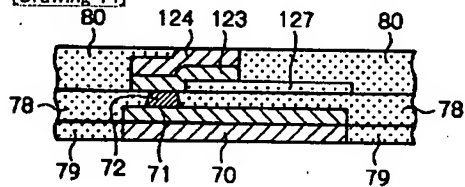
[Drawing 13]



[Drawing 10]

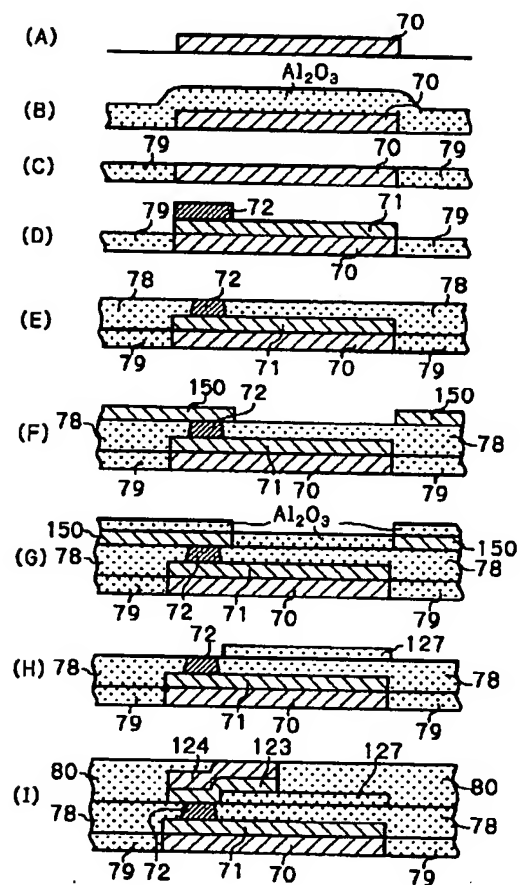


[Drawing 14]

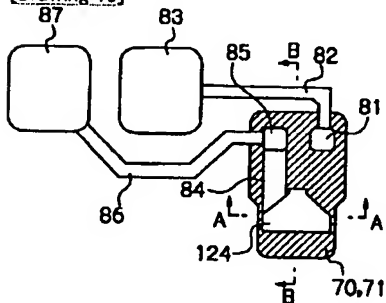


[Drawing 15]

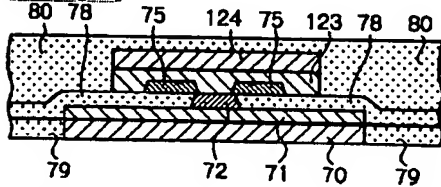




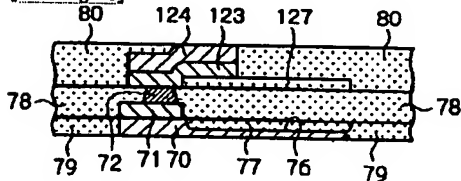
[Drawing 16]



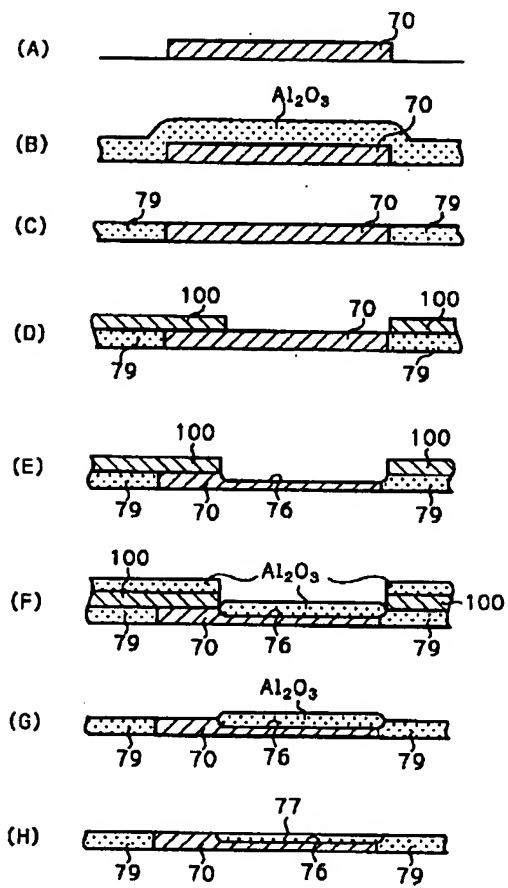
[Drawing 17]



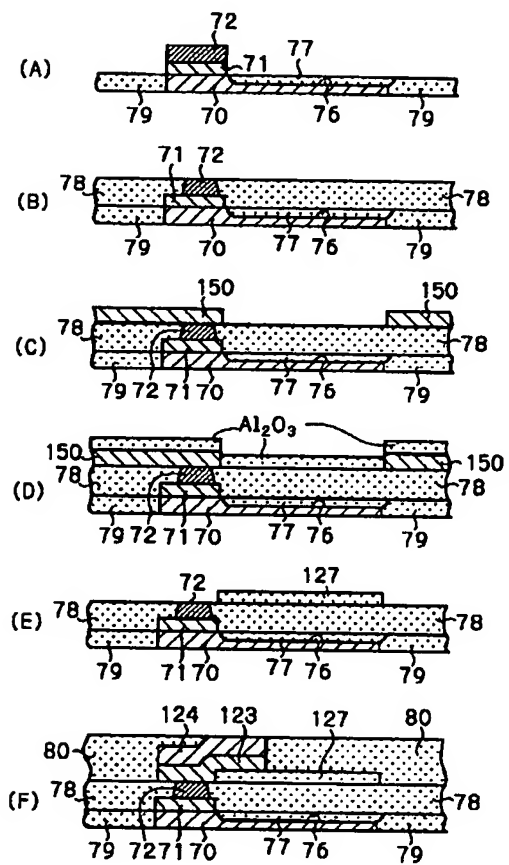
[Drawing 18]



[Drawing 19]



[Drawing 20]



[Translation done.]

(11)特許出願公開番号  
特開2002-25018  
(P2002-25018A)

(43)公開日 平成14年1月25日(2002.1.25)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
G 1 1 B 5/39  
H 0 1 L 43/08

識別記号

```

FI
G11B 5/39
H01L 43/08

```

テ-マ-ト\* (参考)  
5 D 0 3 4

審査請求 有 請求項の数10 OL (全 15 頁)

(21)出願番号 特願2000-208403(P2000-208403)

(22)出願日 平成12年7月10日(2000.7.10)

(71)出願人 000003067

ティーディーケイ株式会社  
東京都中央区日本橋1丁目13番1号

(72)発明者 島沢 幸司

東京都中央区日本橋一丁目13番1号ティー  
ディーケイ株式会社内

(72)発明者 猿木 俊司

東京都中央区日本橋一丁目13番1号ティー  
ディーケイ株式会社内

(74) 代理人 100074930

弁理士 山本 恵一

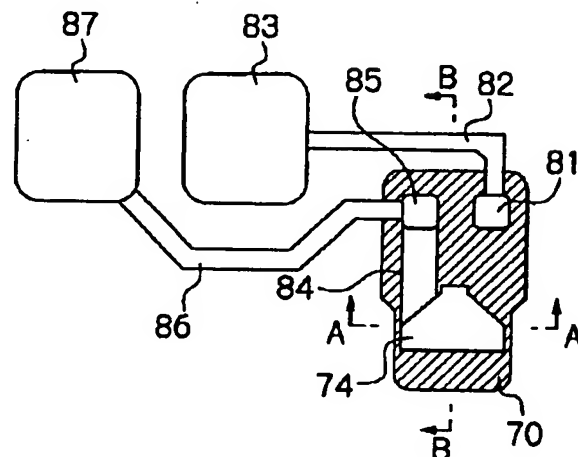
Fターム(参考) 5D034 BA03 BA04 BA08 BA15 BB08  
CA08 DA07

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッド及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 周波数特性を大幅に向上することができる、例えばTMR素子又はCPP-GMR素子を備えた、MR型薄膜磁気ヘッドを提供する。

【解決手段】 下部シールド層と、下部シールド層上に積層された非磁性導電体の下部ギャップ層と、下部ギャップ層上に形成されており、積層面に垂直方向に電流が流れるMR積層体と、このMR積層体上に積層形成された非磁性導電体の上部ギャップ層と、少なくとも下部シールド層及び上部ギャップ層間に形成された絶縁体の絶縁ギャップ層と、上部ギャップ層上に積層形成された上部シールド層とを備えており、MR積層体が存在しない位置において下部シールド層及び上部ギャップ層間の距離が増大するように追加の絶縁体層が形成されている。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 下部シールド層と、該下部シールド層上に積層された非磁性導電体の下部ギャップ層と、該下部ギャップ層上に形成されており、積層面に垂直方向に電流が流れる磁気抵抗効果積層体と、該磁気抵抗効果積層体上に積層形成された非磁性導電体の上部ギャップ層と、少なくとも前記下部シールド層及び前記上部ギャップ層間に形成された絶縁体の絶縁ギャップ層と、前記上部ギャップ層上に積層形成された上部シールド層とを備えており、前記磁気抵抗効果積層体が存在しない位置において前記下部シールド層及び前記上部ギャップ層間の距離が増大するように追加の絶縁体層が形成されていることを特徴とする磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッド。

【請求項2】 前記追加の絶縁体層が、前記磁気抵抗効果積層体が存在しない位置において前記下部シールド層に設けられた凹部内に形成されていることを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッド。

【請求項3】 前記追加の絶縁体層が、前記磁気抵抗効果積層体が存在しない位置において前記上部ギャップ層の下層として形成されていることを特徴とする請求項1又は2に記載の磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッド。

【請求項4】 前記磁気抵抗効果積層体が、トンネルバリア層と、該トンネルバリア層を挟む一対の強磁性薄膜層とを備えたトンネル磁気抵抗効果積層体であることを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッド。

【請求項5】 前記磁気抵抗効果積層体が、非磁性金属層と、該非磁性金属層を挟む一対の強磁性薄膜層とを備えた垂直方向電流通過型巨大磁気抵抗効果積層体であることを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッド。

【請求項6】 積層面に垂直方向に電流が流れる磁気抵抗効果積層体を備えた磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、下部シールド層を形成し、前記磁気抵抗効果積層体が形成されない位置において該下部シールド層の一部に凹部を形成し、該形成した凹部内に追加の絶縁体層を形成し、非磁性導電体の下部ギャップ層を前記磁気抵抗効果積層体が形成される位置の前記下部シールド層上に形成し、該下部ギャップ層上に前記磁気抵抗効果積層体を形成し、前記下部ギャップ層及び前記磁気抵抗効果積層体を囲む絶縁体による絶縁ギャップ層を少なくとも前記追加の絶縁体層上に形成し、前記磁気抵抗効果積層体及び前記絶縁ギャップ層上に非磁性導電体の上部ギャップ層を形成し、前記上部ギャップ層上に上部シールド層を形成することを特徴とする磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項7】 積層面に垂直方向に電流が流れる磁気抵抗効果積層体を備えた磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、下部シールド層を形成し、非磁性導電体の下部ギャップ層を前記磁気抵抗効果積層体が形成

2

される位置の前記下部シールド層上に形成し、該下部ギャップ層上に前記磁気抵抗効果積層体を形成し、前記下部ギャップ層及び前記磁気抵抗効果積層体を囲む絶縁体による絶縁ギャップ層を前記下部シールド層上に形成し、前記磁気抵抗効果積層体が形成されない位置において前記絶縁ギャップ層上に追加の絶縁体層を形成し、前記磁気抵抗効果積層体及び前記追加の絶縁体層上に非磁性導電体の上部ギャップ層を形成し、前記上部ギャップ層上に上部シールド層を形成することを特徴とする磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項8】 積層面に垂直方向に電流が流れる磁気抵抗効果積層体を備えた磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、下部シールド層を形成し、前記磁気抵抗効果積層体が形成されない位置において該下部シールド層の一部に凹部を形成し、該形成した凹部内に第1の追加の絶縁体層を形成し、非磁性導電体の下部ギャップ層を前記磁気抵抗効果積層体が形成される位置の前記下部シールド層上に形成し、該下部ギャップ層上に前記磁気抵抗効果積層体を形成し、前記下部ギャップ層及び前記磁気抵抗効果積層体を囲む絶縁体による絶縁ギャップ層を少なくとも前記第1の追加の絶縁体層上に形成し、前記磁気抵抗効果積層体が形成されない位置において前記絶縁ギャップ層上に第2の追加の絶縁体層を形成し、前記磁気抵抗効果積層体及び前記第2の追加の絶縁体層上に非磁性導電体の上部ギャップ層を形成し、前記上部ギャップ層上に上部シールド層を形成することを特徴とする磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項9】 前記磁気抵抗効果積層体が、トンネルバリア層と、該トンネルバリア層を挟む一対の強磁性薄膜層とを備えたトンネル磁気抵抗効果積層体であることを特徴とする請求項6から8のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項10】 前記磁気抵抗効果積層体が、非磁性金属層と、該非磁性金属層を挟む一対の強磁性薄膜層とを備えた垂直方向電流通過型巨大磁気抵抗効果積層体であることを特徴とする請求項6から8のいずれか1項に記載の磁気抵抗効果型薄膜磁気ヘッドの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えばハードディスクドライブ（HDD）装置に使用可能であり、電流が積層面と垂直方向に流れるトンネル磁気抵抗効果（TMR）素子又は垂直方向電流通過型巨大磁気抵抗効果（CPP（Current Perpendicular to the Plane）-GMR）素子を備えた磁気抵抗効果（MR）型薄膜磁気ヘッド及びそのMR型薄膜磁気ヘッドの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】HDD装置の高密度化に伴って、より高感度及び高出力の磁気ヘッドが要求されている。近年、

10

20

30

40

50

3

この要求に答えるものとして、下部強磁性薄膜層／トンネルバリア層／上部強磁性薄膜層という多層構造からなる強磁性トンネル効果を利用したTMR素子（例えば、特開平4-103014号公報）や、下部強磁性薄膜層／非磁性金属層／上部強磁性薄膜層という多層構造からなるGMR素子の一種であり電流が積層面と垂直方向に流れるCPP-GMR素子（例えば、W. P. Pratt, Jr et al, "Perpendicular Giant Magnetoresistance of Ag/Co Multilayers", PHYSICAL REVIEW LETTERS, Vol. 66, No. 23, pp. 3060-3063, June 1991）が注目されている。これらの素子は、電流が積層面に沿って流れる一般的なGMR素子（CIP（Current-InPlane）-GMR素子）に比較して数倍大きなMR変化率が得られ、しかも狭ギャップを容易に実現できる。なお、下部強磁性薄膜層及び上部強磁性薄膜層における「下部」及び「上部」とは、基板との位置関係を示す用語であり、一般に、基板に近い側が下部、遠い側が上部である。

【0003】図1は、一般的な構造を有するCIP-GMR素子をABS（浮上面）方向から見た図である。

【0004】同図において、10は下部シールド層、11は絶縁材料で形成された下部ギャップ層、12は下部強磁性薄膜層（フリー層）／非磁性金属層／上部強磁性薄膜層（ピン層）／反強磁性薄膜層という多層構造からなるGMR積層体、13は絶縁材料で形成された上部ギャップ層、14は上部シールド層、15はハードバイアス層、16は電極層をそれぞれ示している。

【0005】センス電流はGMR積層体12の積層面と平行に流れ、下部及び上部シールド層10及び14とGMR積層体12とは下部及び上部ギャップ層11及び13で電気的に絶縁されている。

【0006】このようなCIP-GMR素子において、狭ギャップ化を実現するためには、非常に薄かつ絶縁耐圧が非常に高い絶縁体を下部及び上部ギャップ層11及び13に用いる必要があるが、このような特性の絶縁体を実現することが難しく、これが高密度化のためのボトルネックとなっている。

【0007】図2は、一般的な構造を有するTMR素子又はCPP-GMR素子をABS方向から見た図である。

【0008】同図において、20は電極兼用の下部シールド層、21は金属材料で形成された電極兼用の下部ギャップ層、22は下部強磁性薄膜層（フリー層）／トンネルバリア層／上部強磁性薄膜層（ピン層）／反強磁性薄膜層という多層構造からなるTMR積層体、又は下部強磁性薄膜層（フリー層）／非磁性金属層／上部強磁性薄膜層（ピン層）／反強磁性薄膜層という多層構造からなるCPP-GMR積層体、23は金属材料で形成

4

された電極兼用の上部ギャップ層、24は電極兼用の上部シールド層、25はハードバイアス層、26は絶縁材料で形成された絶縁ギャップ層をそれぞれ示している。なお、22aはTMR積層体又はCPP-GMR積層体から積層面に沿ってハードバイアス層25方向に延長された下部強磁性薄膜層（フリー層）である。

【0009】このようなTMR素子又はCPP-GMR素子においては、センス電流を積層面と垂直方向に流すために下部シールド層20及び上部シールド層24間が電気的に導通しており、従って、ギャップ層の絶縁破壊を心配することなく狭ギャップ化の実現が可能である。その結果、線記録密度を大幅に向上することが可能である。

【0010】HDD装置においては、このような高記録密度化のみならず、高転送速度化も非常に重要な課題となっている。転送速度は、磁気ディスクの回転速度に大きく影響されるが、記録ヘッドや再生ヘッドの周波数特性にも非常に大きく影響される。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】図3はCIP-GMR素子の等価回路図であり、図4はTMR素子又はCPP-GMR素子の等価回路図である。

【0012】図3から明らかのように、CIP-GMR素子においては、出力端子間にはGMR素子の等価抵抗 $R_{GMR}$ が存在するのみであり周波数特性を劣化させるような本質的な要因はその回路中に存在しない。しかしながら、図4から明らかのように、シールド層を電極として利用する構造のTMR素子又はCPP-GMR素子においては、出力端子間にTMR素子又はCPP-GMR素子の等価抵抗 $R_{TMR}$ の他にシールド層間のキャパシタンス $C_{Shield}$ 及びTMR素子又はCPP-GMR素子自体のキャパシタンス $C_{TMR}$ が存在しており、これらがローパスフィルタを構成する形となって周波数特性が著しく劣化してしまう。

【0013】従って、本発明の目的は、周波数特性を大幅に向上することができる、例えばTMR素子又はCPP-GMR素子を備えた、MR型薄膜磁気ヘッド及びその製造方法を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、下部シールド層と、下部シールド層上に積層された非磁性導電体の下部ギャップ層と、下部ギャップ層上に形成されており、積層面に垂直方向に電流が流れるMR積層体と、このMR積層体上に積層形成された非磁性導電体の上部ギャップ層と、少なくとも下部シールド層及び上部ギャップ層間に形成された絶縁体の絶縁ギャップ層と、上部ギャップ層上に積層形成された上部シールド層とを備えており、MR積層体が存在しない位置において下部シールド層及び上部ギャップ層間の距離が増大するように追加の絶縁体層が形成されているMR型薄膜磁気ヘッドが

提供される。

【0015】MR積層体が存在しない位置において下部シールド層及び上部ギャップ層間の距離が増大するように追加の絶縁体層が形成されているため、下部シールド層及び上部シールド層間のキャパシタンス $C_{\text{Shield}}$ が小さくなる。その結果、薄膜磁気ヘッドの周波数特性が著しく向上する。

【0016】図5は図4に示した等価回路においてシールド層間のキャパシタンスが $C_{\text{Shield}} = 6 \text{ pF}$ の場合におけるヘッド出力の対周波数特性を示す図であり、図6は同じく図4に示した等価回路においてシールド層間のキャパシタンスが $C_{\text{Shield}} = 1 \text{ pF}$ の場合におけるヘッド出力の対周波数特性を示す図である。ただし、TMR素子又はCPP-GMR素子のキャパシタンスは $C_{\text{TMR}} = 0.01 \text{ pF}$ とし、出力端子に接続される負荷は $10 \text{ M}\Omega$ とする。

【0017】図5から明らかなように、シールド層間のキャパシタンス $C_{\text{Shield}} = 6 \text{ pF}$ の場合、出力が $3 \text{ dB}$ 低下するカットオフ周波数 $f_c$ は、素子抵抗 $R_{\text{TMR}}$ の増大に伴って減少し、 $f_c > 500 \text{ MHz}$ とするためには、素子抵抗 $R_{\text{TMR}}$ を $50 \Omega$ 以下にしなければならない。 $100 \text{ Gbits/in}^2$ 以上の記録密度のTMR素子においては、このような低い素子抵抗を実現することは非常に困難である。

【0018】これに対して、図6から明らかなように、シールド層間のキャパシタンス $C_{\text{Shield}} = 1 \text{ pF}$ の場合、素子抵抗 $R_{\text{TMR}}$ が $300 \Omega$ 以上であっても $f_c > 500 \text{ MHz}$ とすることが可能となる。即ち、シールド層間のキャパシタンス $C_{\text{Shield}}$ を小さくすることにより、素子抵抗 $R_{\text{TMR}}$ が十分に実現可能な $300 \Omega$ 以上であっても薄膜磁気ヘッドの周波数特性を著しく向上させることができるのである。なお、TMR素子又はCPP-GMR素子のキャパシタンス $C_{\text{TMR}}$ は、シールド層間のキャパシタンス $C_{\text{Shield}}$ に比してはるかに(2桁以上)小さいため、さほど問題とならない。

【0019】追加の絶縁体層が、MR積層体が存在しない位置において下部シールド層に設けられた凹部内に形成されていることが好ましい。

【0020】追加の絶縁体層が、MR積層体が存在しない位置において上部ギャップ層の下層として形成されていることも好ましい。

【0021】また、本発明によれば、積層面に垂直方向に電流が流れるMR積層体を備えたMR型薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、下部シールド層を形成し、MR積層体が形成されない位置において下部シールド層の一部に凹部を形成し、形成した凹部内に追加の絶縁体層を形成し、非磁性導電体の下部ギャップ層をMR積層体が形成される位置の下部シールド層上に形成し、下部ギャップ層上にMR積層体を形成し、下部ギャップ層及びM

R積層体を囲む絶縁体による絶縁ギャップ層を少なくとも追加の絶縁体層上に形成し、MR積層体及び絶縁ギャップ層上に非磁性導電体の上部ギャップ層を形成し、上部ギャップ層上に上部シールド層を形成するMR型薄膜磁気ヘッドの製造方法が提供される。

【0022】さらに、本発明によれば、積層面に垂直方向に電流が流れるMR積層体を備えたMR型薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、下部シールド層を形成し、非磁性導電体の下部ギャップ層をMR積層体が形成される位置の下部シールド層上に形成し、下部ギャップ層上にMR積層体を形成し、下部ギャップ層及びMR積層体を囲む絶縁体による絶縁ギャップ層を下部シールド層上に形成し、MR積層体が形成されない位置において絶縁ギャップ層上に追加の絶縁体層を形成し、MR積層体及び追加の絶縁体層上に非磁性導電体の上部ギャップ層を形成し、上部ギャップ層上に上部シールド層を形成するMR型薄膜磁気ヘッドの製造方法が提供される。

【0023】さらにまた、本発明によれば、積層面に垂直方向に電流が流れるMR積層体を備えたMR型薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、下部シールド層を形成し、MR積層体が形成されない位置において下部シールド層の一部に凹部を形成し、形成した凹部内に第1の追加の絶縁体層を形成し、非磁性導電体の下部ギャップ層をMR積層体が形成される位置の下部シールド層上に形成し、下部ギャップ層上にMR積層体を形成し、下部ギャップ層及びMR積層体を囲む絶縁体による絶縁ギャップ層を少なくとも第1の追加の絶縁体層上に形成し、MR積層体が形成されない位置において絶縁ギャップ層上に第2の追加の絶縁体層を形成し、MR積層体及び第2の追加の絶縁体層上に非磁性導電体の上部ギャップ層を形成し、上部ギャップ層上に上部シールド層を形成するMR型薄膜磁気ヘッドの製造方法が提供される。

【0024】MR積層体が、トンネルバリア層と、このトンネルバリア層を挟む一対の強磁性薄膜層とを備えたTMR積層体であるか、又は非磁性金属層と、この非磁性金属層を挟む一対の強磁性薄膜層とを備えたCPP-GMR積層体であることが好ましい。

【0025】

【発明の実施の形態】図7は本発明の第1の実施形態として、MRハイト又はスロートハイト研磨加工前のTMR型薄膜磁気ヘッドの下部シールド層、上部シールド層及びリード導体部分の構成を概略的に示す平面図であり、図8は図7のA-A線断面図であり、図9は図7のB-B線断面図である。なお、図7では下部シールド層及び上部シールド層とこれらに接続されるリード導体と端子電極のみが表されその他は図示が省略されており、図8及び図9では上部シールド層の上平面より上側の層の図示が省略されている。

【0026】これらの図において、70は図示しない基板上に積層形成された電極兼用の下部シールド層、71



7

は下部シールド層70上にこの下部シールド層70と電気的に導通して積層形成された非磁性導電体による電極兼用の下部ギャップ層、72は下部ギャップ層71上に積層されパターンニング形成されたTMR積層体、73は少なくともTMR積層体72上に積層形成された非磁性導電体による電極兼用の上部ギャップ層、74は上部ギャップ層73上にこの上部ギャップ層73と電気的に導通して積層形成された電極兼用の上部シールド層、75は磁区制御のためのバイアス磁界を付与するハードバイアス層、76はTMR積層体72が存在しない位置において下部シールド層70の上面から形成された凹部、77は凹部76内に絶縁体材料を埋め込んで形成された追加の絶縁体層、78は追加の絶縁体層77及び下部シールド層70上に、下部ギャップ層71及びTMR積層体72を取り囲んで形成された絶縁体による絶縁ギャップ層、79は下部シールド層70の外側に形成された第1の絶縁体層、80は絶縁ギャップ層78上であって上部ギャップ層73及び上部シールド層74の外側に形成された第2の絶縁体層をそれぞれ示している。

【0027】図7において、さらに、81は一端が下部シールド層70に電気的に接続された第1のピアホール導体、82は一端が第1のピアホール導体81の他端に電気的に接続された第1のリード導体、83は第1のリード導体82の他端が電気的に接続された第1の端子電極（接続パッド）、84は一端が上部シールド層74に電気的に接続された第2のリード導体、85は一端が第2のリード導体84の他端に電気的に接続された第2のピアホール導体、86は一端が第2のピアホール導体85の他端に電気的に接続された第3のリード導体、87は第3のリード導体86の他端が電気的に接続された第2の端子電極（接続パッド）をそれぞれ示している。

【0028】TMR積層体72は、図には示されていないが、反強磁性薄膜層、下部強磁性薄膜層（ピンド層）、トンネルバリア層及び上部強磁性薄膜層（フリー層）という基本的な層を少なくとも含む多層構造となっている。

【0029】上部強磁性薄膜層（フリー層）は、基本的には、外部磁場に応答して自由に磁化の向きが変わるように構成されており、下部強磁性薄膜層（ピンド層）は、反強磁性薄膜層との間の交換結合バイアス磁界によって、その磁化方向が所定方向に向くように構成されている。

【0030】下部シールド層70及び上部シールド層74は、NiFe（パーマロイ）、センダスト、CoFe、CoFeNi又はCoZrNb等の単層構造又は多層構造で構成される。膜厚は、0.5～4μm、好ましくは1～3μmである。

【0031】下部ギャップ層71及び上部ギャップ層73は、非磁性導電体材料、例えばTa、Cu、Al、Ag、Au、Ti、TiW、Rh、Cr、In、Ir、M

8

g、Ru、W、Zn、PtMn若しくはRuRhMn、又はそれらの合金で構成される。膜厚は、5～70nm、好ましくは10～50nmである。

【0032】TMR積層体72における下部強磁性薄膜層（ピンド層）及び上部強磁性薄膜層（フリー層）は、高スピン分極材料で構成することが好ましく、例えば、Fe、Co、Ni、CoFe、NiFe、CoZrNb又はCoFeNi等の単層構造又は多層構造が用いられる。下部強磁性薄膜層（ピンド層）の膜厚は、1～10nm、好ましくは2～5nmである。この膜厚が厚くなりすぎると反強磁性薄膜層との交換結合バイアス磁化が弱まり、膜厚が薄くなりすぎるとTMR変化率が減少する。上部強磁性薄膜層（フリー層）の膜厚は、2～50nm、好ましくは4～30nmである。この膜厚が厚くなりすぎるとヘッド動作時の出力が低下しかつバルクハウゼンノイズ等によって出力の不安定性が増大し、膜厚が薄くなりすぎるとTMR効果の劣化に起因する出力低下が生じる。

【0033】TMR積層体72におけるトンネルバリア層は、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、NiO、GdO、MgO、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、MoO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>又はWO<sub>2</sub>等から構成される。膜厚は、0.5～2nm程度である。このトンネルバリア層の膜厚は、素子の低抵抗値化の観点からできるだけ薄いことが望ましいが、あまり薄すぎてピンホールが生じるとリーク電流が流れてしまうので好ましくない。

【0034】TMR積層体72における反強磁性薄膜層は、例えばPtMn、RuRhMnで構成されるがその他の一般的な反強磁性材料を用いることもできる。膜厚は6～30nm程度である。

【0035】追加の絶縁体層77、絶縁ギャップ層78、第1の絶縁体層79及び第2の絶縁体層80は、一般的にはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>で構成される。

【0036】第1及び第2のピアホール導体81及び85、第1、第2及び第3のリード導体82、84及び86、並びに第1及び第2の端子電極（接続パッド）83及び87は、Cu、Al、Au又はAg等で構成される。ただし、一端が上部シールド層74に電気的に接続されている第2のリード導体84を、この上部シールド層74と同じ材料で形成してもよい。

【0037】本実施形態における重要なポイントは、M R積層体72が存在しない位置において下部シールド層70に凹部76が設けられ、その中に追加の絶縁体層77が埋め込まれていることにより、下部シールド層70及び上部ギャップ層73間の距離が実質的に増大するように構成されている点にある。その結果、下部シールド層及び上部シールド層間のキャパシタンスC

Shield が小さくなるので、薄膜磁気ヘッドの周波数特性が著しく向上するのである。

【0038】図7に示すとき第1の実施形態の場合、下部シールド層70上に位置する上部シールド層74の

9

電位を有する部分の面積、即ちキャパシタとして機能する電極面積は $S = 10230 \mu\text{m}^2$  (CADによる計算値)であり、下部シールド層70及び上部シールド層74間のキャパシタンスは $C_{\text{shield}} = 5.2 \text{ pF}$ であり、カットオフ周波数 $f_c$ は $f_c = 235 \text{ MHz}$ であった。ただし、下部シールド層70及び上部シールド層74間の距離は $110 \text{ nm}$ であり、そのうち、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ による絶縁ギャップ層78の膜厚は $52 \text{ nm}$ であり、凹部76の深さは $150 \text{ nm}$ 、従って追加の絶縁体層77の膜厚も $150 \text{ nm}$ であり、リード線を含むTMRヘッドの抵抗は $R_{\text{HGA}} = 130 \Omega$ である。なお、シールド層間キャパシタンス $C_{\text{shield}}$ 及びカットオフ周波数 $f_c$ は、実測しても計算で求めてもほぼ一致する。例えばカットオフ周波数 $f_c$ は $f_c = 1 / (2\pi R_{\text{HGA}} C_{\text{shield}})$ から算出できる。測定又は計算に用いたTMRヘッドは、そのTMR積層体が下地層として $\text{NiCr}$  ( $3 \text{ nm}$ )、反強磁性薄膜層として $\text{PtMn}$  ( $14 \text{ nm}$ )、下部強磁性薄膜層 (ピンド層) として $\text{CoFe}$  ( $2 \text{ nm}$ ) /  $\text{Ru}$  ( $0.8 \text{ nm}$ ) /  $\text{CoFe}$  ( $2 \text{ nm}$ )、トンネルバリア層として $\text{AlOx}$ 、上部強磁性薄膜層 (フリー層) として $\text{CoFe}$  ( $2 \text{ nm}$ ) /  $\text{NiFe}$  ( $4 \text{ nm}$ )、キャップ層として $\text{NiCr}$  ( $3 \text{ nm}$ ) を順次積層した構成を有している。

【0039】一方、追加の絶縁体層77を設けない従来技術の場合、 $C_{\text{shield}} = 10.2 \text{ pF}$ であり、 $f_c = 120 \text{ MHz}$ であった。従って、本実施形態によれば、 $C_{\text{shield}}$  が従来技術よりかなり小さくなるので、薄膜磁気ヘッドの周波数特性が著しく向上する。

【0040】図10及び図11は、第1の実施形態におけるTMR型薄膜磁気ヘッドの製造工程の一部を説明する断面図であり、以下これらの図を用いて本実施形態のTMR型薄膜磁気ヘッドの製造方法を説明する。

【0041】まず、図10 (A) に示すように、下部シールド層70を成膜しパターンニングする。次いで、図10 (B) に示すように、その上に $\text{Al}_2\text{O}_3$  による絶縁体層を成膜し、CMP処理を行うことによって表面を平坦化して、図10 (C) に示すとき第1の絶縁体層79を形成する。

【0042】次いで、その上にレジスト材料を塗布しパターンニングすることにより、TMR積層体72の存在しない位置における下部シールド層70の一部が開口した、図10 (D) に示すときレジストパターン100を形成する。次いで、このレジストパターン100を介してイオンミリングを行うことにより、図10 (E) に示すように、TMR積層体72の存在しない位置における下部シールド層70に凹部76が形成される。

【0043】次いで、図10 (F) に示すようにその上に $\text{Al}_2\text{O}_3$  による絶縁体層を成膜した後、図10 (G) に示すように、リフトオフ処理を行ってレジストパターン100及びその上の不要な絶縁体層を除去す

10

る。次いで、CMP処理を行うことによって表面を平坦化して、図10 (H) に示すごとく、凹部76内に埋め込まれた追加の絶縁体層77を得る。

【0044】その後、図11 (A) に示すように、下部シールド層70の所定位置に、下部ギャップ層71及びその上にTMR積層体72を成膜する。次いで、図11 (B) に示すように、TMR積層体72をパターンニングして接合部などを形成し、下部ギャップ層71及びTMR積層体72の外側の下部シールド層70、追加の絶縁体層77及び第1の絶縁体層79上に $\text{Al}_2\text{O}_3$  による絶縁ギャップ層78を成膜する。

【0045】次いで、ハードマグネット層75 (図8) を形成した後、図11 (C) に示すように、TMR積層体72上に上部ギャップ層73及び上部シールド層74を形成すると共にこれら上部ギャップ層73及び上部シールド層74の外側の絶縁ギャップ層78上に $\text{Al}_2\text{O}_3$  による第2の絶縁体層80を成膜する。

【0046】図12は本発明の第2の実施形態として、MRハイト又はスロートハイト研磨加工前のTMR型薄膜磁気ヘッドの下部シールド層、上部シールド層及びリード導体部分の構成を概略的に示す平面図であり、図13は図12のA-A線断面図であり、図14は図12のB-B線断面図である。なお、図12では下部シールド層及び上部シールド層とこれらに接続されるリード導体と端子電極のみが表されその他は図示が省略されており、図13及び図14では上部シールド層の上平面より上側の層の図示が省略されている。

【0047】この第2の実施形態は、下部シールド層70及び上部ギャップ層123間の距離を増大させる追加の絶縁体層が上部ギャップ層123の下層として形成されている点で第1の実施形態の場合と異なっている。本実施形態のその他の構造は第1の実施形態と全く同様である。従って、図12～図14においては、図7～図9と同等の構成要素には同じ参照符号が付されている。

【0048】図12～図14において、70は図示しない基板上に積層形成された電極兼用の下部シールド層、71は下部シールド層70上にこの下部シールド層70と電気的に導通して積層形成された非磁性導電体による電極兼用の下部ギャップ層、72は下部ギャップ層71上に積層されパターンニング形成されたTMR積層体、123はTMR積層体72及び追加の絶縁体層127上に積層形成された非磁性導電体による電極兼用の上部ギャップ層、124は上部ギャップ層123上にこの上部ギャップ層123と電気的に導通して積層形成された電極兼用の上部シールド層、75は磁区制御のためのバイアス磁界を付与するハードバイアス層、78は下部シールド層70上に、下部ギャップ層71及びTMR積層体72を取り囲んで形成された絶縁体による絶縁ギャップ層、127はTMR積層体72が存在しない位置において絶縁ギャップ層78上に形成された追加の絶縁体層、

11

79は下部シールド層70の外側に形成された第1の絶縁体層、80は絶縁ギャップ層78上であって上部ギャップ層123及び上部シールド層124の外側に形成された第2の絶縁体層をそれぞれ示している。

【0049】図12において、さらに、81は一端が下部シールド層70に電氣的に接続された第1のビアホール導体、82は一端が第1のビアホール導体81の他端に電氣的に接続された第1のリード導体、83は第1のリード導体82の他端が電氣的に接続された第1の端子電極（接続パッド）、84は一端が上部シールド層124に電氣的に接続された第2のリード導体、85は一端が第2のリード導体84の他端に電氣的に接続された第2のビアホール導体、86は一端が第2のビアホール導体85の他端に電氣的に接続された第3のリード導体、87は第3のリード導体86の他端が電氣的に接続された第2の端子電極（接続パッド）をそれぞれ示している。

【0050】TMR積層体72は、図には示されていないが、反強磁性薄膜層、下部強磁性薄膜層（ビンド層）、トンネルバリア層及び上部強磁性薄膜層（フリー層）という基本的な層を少なくとも含む多層構造となっている。

【0051】上部強磁性薄膜層（フリー層）は、基本的には、外部磁場に応答して自由に磁化の向きが変わるように構成されており、下部強磁性薄膜層（ビンド層）は、反強磁性薄膜層との間の交換結合バイアス磁界によって、その磁化方向が所定方向に向くように構成されている。

【0052】下部シールド層70及び上部シールド層124は、NiFe（パーマロイ）、センダスト、CoFe、CoFeNi又はCoZrNb等の単層構造又は多層構造で構成される。膜厚は、0.5〜4 $\mu$ m、好ましくは1〜3 $\mu$ mである。

【0053】下部ギャップ層71及び上部ギャップ層123は、非磁性導電体材料、例えばTa、Cu、Al、Ag、Au、Ti、TiW、Rh、Cr、In、Ir、Mg、Ru、W、Zn、PtMn若しくはRuRhMn、又はそれらの合金で構成される。膜厚は、5〜70nm、好ましくは10〜50nmである。

【0054】TMR積層体72における下部強磁性薄膜層（ビンド層）及び上部強磁性薄膜層（フリー層）は、高スピン分極材料で構成することが好ましく、例えば、Fe、Co、Ni、CoFe、NiFe、CoZrNb又はCoFeNi等の単層構造又は多層構造が用いられる。下部強磁性薄膜層（ビンド層）の膜厚は、1〜10nm、好ましくは2〜5nmである。この膜厚が厚くなりすぎると反強磁性薄膜層との交換結合バイアス磁化が弱まり、膜厚が薄くなりすぎるとTMR変化率が減少する。上部強磁性薄膜層（フリー層）の膜厚は、2〜50nm、好ましくは4〜30nmである。この膜厚が厚く

12

なりすぎるとヘッド動作時の出力が低下しかつバルクハウゼンノイズ等によって出力の不安定性が増大し、膜厚が薄くなりすぎるとTMR効果の劣化に起因する出力低下が生じる。

【0055】TMR積層体72におけるトンネルバリア層は、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、NiO、GdO、MgO、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、MoO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>又はWO<sub>2</sub>等から構成される。膜厚は、0.5〜2nm程度である。このトンネルバリア層の膜厚は、素子の低抵抗値化の観点からできるだけ薄いことが望ましいが、あまり薄すぎてピンホールが生じるとリーク電流が流れてしまうので好ましくない。

【0056】TMR積層体72における反強磁性薄膜層は、例えばPtMn、RuRhMnで構成されるがその他の一般的な反強磁性材料を用いることもできる。膜厚は6〜30nm程度である。

【0057】追加の絶縁体層127、絶縁ギャップ層78、第1の絶縁体層79及び第2の絶縁体層80は、一般的にはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>で構成される。

【0058】第1及び第2のビアホール導体81及び85、第1、第2及び第3のリード導体82、84及び86、並びに第1及び第2の端子電極（接続パッド）83及び87は、Cu、Al、Au又はAg等で構成される。ただし、一端が上部シールド層124に電氣的に接続されている第2のリード導体84を、この上部シールド層124と同じ材料で形成してもよい。

【0059】本実施形態における重要なポイントは、MR積層体72が存在しない位置において絶縁ギャップ層78上に追加の絶縁体層127が形成されていることにより、下部シールド層70及び上部ギャップ層123間の距離が実質的に増大するように構成されている点にある。その結果、下部シールド層及び上部シールド層間のキャパシタンスC<sub>Shield</sub>が小さくなるので、薄膜磁気ヘッドの周波数特性が著しく向上するのである。

【0060】図12に示すとき第2の実施形態の場合、下部シールド層70上に位置する上部シールド層124の電位を有する部分の面積、即ちキャパシタとして機能する電極面積はS=10230 $\mu$ m<sup>2</sup>（CADによる計算値）であり、下部シールド層70及び上部シールド層124間のキャパシタンスはC<sub>Shield</sub>=5.2pFであり、カットオフ周波数f<sub>c</sub>はf<sub>c</sub>=235MHzであった。ただし、下部シールド層70及び上部シールド層124間の距離は110nmであり、そのうち、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>による絶縁ギャップ層78の膜厚は52nmであり、追加の絶縁体層127の膜厚は150nmであり、リード線を含むTMRヘッドの抵抗はR<sub>HGA</sub>=130 $\Omega$ である。追加の絶縁体層127を設けない従来技術の場合、C<sub>Shield</sub>=10.2pFであり、f<sub>c</sub>=120MHzであるから、本実施形態によれば、C<sub>Shield</sub>が従来技術よりかなり小さくなることとなり薄膜磁気ヘッドの周波数特性が著しく向上する。

13

【0061】この第2の実施形態におけるその他の構造、材料、膜厚、作用効果及び変更態様等については、前述した第1の実施形態の場合と同様である。

【0062】図15は、第2の実施形態におけるTMR型薄膜磁気ヘッドの製造工程の一部を説明する断面図であり、以下同図を用いて本実施形態のTMR型薄膜磁気ヘッドの製造方法を説明する。

【0063】まず、図15(A)に示すように、下部シールド層70を成膜しパターンニングする。次いで、図15(B)に示すように、その上にA1<sub>2</sub>O<sub>3</sub>による絶縁体層を成膜し、CMP処理を行うことによって表面を平坦化して、図15(C)に示すとき第1の絶縁体層79を形成する。

【0064】次いで、図15(D)に示すように、下部シールド層70に下部ギャップ層71を成膜し、その上の所定位置にTMR積層体72を成膜する。次いで、図15(E)に示すように、TMR積層体72をパターンニングして接合部などを形成し、TMR積層体72の外側の下部ギャップ層71及び第1の絶縁体層79上にA1<sub>2</sub>O<sub>3</sub>による絶縁ギャップ層78を成膜する。

【0065】次いで、ハードマグネット層75(図13)を形成した後、その上にレジスト材料を塗布しパターンニングすることにより、TMR積層体72の存在しない位置における絶縁ギャップ層78の一部が開口した、図15(F)に示すときレジストパターン150を形成する。

【0066】次いで、図15(G)に示すようにその上にA1<sub>2</sub>O<sub>3</sub>による絶縁体層を成膜した後、図15

(H)に示すように、リフトオフ処理を行ってレジストパターン150及びその上の不要な絶縁体層を除去する。これにより、TMR積層体72の存在しない位置における絶縁ギャップ層78上に形成された追加の絶縁体層127を得る。

【0067】その後、図15(I)に示すように、TMR積層体72及び追加の絶縁体層127上に上部ギャップ層123及び上部シールド層124を形成すると共にこれら上部ギャップ層123及び上部シールド層124の外側の絶縁ギャップ層78及び追加の絶縁体層127上にA1<sub>2</sub>O<sub>3</sub>による第2の絶縁体層80を成膜する。

【0068】図16は本発明の第3の実施形態として、MRハイト又はスロートハイト研磨加工前のTMR型薄膜磁気ヘッドの下部シールド層、上部シールド層及びリード導体部分の構成を概略的に示す平面図であり、図17は図16のA-A線断面図であり、図18は図16のB-B線断面図である。なお、図16では下部シールド層及び上部シールド層とこれらに接続されるリード導体と端子電極のみが表されその他は図示が省略されており、図17及び図18では上部シールド層の上平面より上側の層の図示が省略されている。

【0069】この第3の実施形態は、前述した第1の実

14

施形態及び第2の実施形態の構成を組み合わせたものである。本実施形態のその他の構造は第1及び第2の実施形態と全く同様である。従って、図16～図18においては、図7～図9及び図12～図14と同等の構成要素には同じ参照符号が付されている。

【0070】図16～図18において、70は図示しない基板上に積層形成された電極兼用の下部シールド層、71は下部シールド層70上にこの下部シールド層70と電氣的に導通して積層形成された非磁性導電体による電極兼用の下部ギャップ層、72は下部ギャップ層71上に積層されパターンニング形成されたTMR積層体、123はTMR積層体72及び追加の絶縁体層127上に積層形成された非磁性導電体による電極兼用の上部ギャップ層、124は上部ギャップ層123上にこの上部ギャップ層123と電氣的に導通して積層形成された電極兼用の上部シールド層、75は磁区制御のためのバイアス磁界を付与するハードバイアス層、76はTMR積層体72が存在しない位置において下部シールド層70の上面から形成された凹部、77は凹部76内に絶縁体材料を埋め込んで形成された第1の追加の絶縁体層、78は下部シールド層70上に、下部ギャップ層71及びTMR積層体72を取り囲んで形成された絶縁体による絶縁ギャップ層、127はTMR積層体72が存在しない位置において絶縁ギャップ層78上に形成された第2の追加の絶縁体層、79は下部シールド層70の外側に形成された第1の絶縁体層、80は絶縁ギャップ層78上であって上部ギャップ層123及び上部シールド層124の外側に形成された第2の絶縁体層をそれぞれ示している。

【0071】図16において、さらに、81は一端が下部シールド層70に電氣的に接続された第1のピアホール導体、82は一端が第1のピアホール導体81の他端に電氣的に接続された第1のリード導体、83は第1のリード導体82の他端が電氣的に接続された第1の端子電極(接続パッド)、84は一端が上部シールド層124に電氣的に接続された第2のリード導体、85は一端が第2のリード導体84の他端に電氣的に接続された第2のピアホール導体、86は一端が第2のピアホール導体85の他端に電氣的に接続された第3のリード導体、87は第3のリード導体86の他端が電氣的に接続された第2の端子電極(接続パッド)をそれぞれ示している。

【0072】TMR積層体72は、図には示されていないが、反強磁性薄膜層、下部強磁性薄膜層(ピンド層)、トンネルバリア層及び上部強磁性薄膜層(フリー層)という基本的な層を少なくとも含む多層構造となっている。

【0073】上部強磁性薄膜層(フリー層)は、基本的には、外部磁場に応答して自由に磁化の向きが変わるよう構成されており、下部強磁性薄膜層(ピンド層)

15

は、反強磁性薄膜層と間の交換結合バイアス磁界によって、その磁化方向が所定方向に向くように構成されている。

【0074】下部シールド層70及び上部シールド層124は、NiFe（パーマロイ）、センダスト、CoFe、CoFeNi又はCoZrNb等の単層構造又は多層構造で構成される。膜厚は、0.5～4μm、好ましくは1～3μmである。

【0075】下部ギャップ層71及び上部ギャップ層123は、非磁性導電体材料、例えばTa、Cu、Al、Ag、Au、Ti、TiW、Rh、Cr、In、Ir、Mg、Ru、W、Zn、PtMn若しくはRuRhMn、又はそれらの合金で構成される。膜厚は、5～70nm、好ましくは10～50nmである。

【0076】TMR積層体72における下部強磁性薄膜層（ピンド層）及び上部強磁性薄膜層（フリー層）は、高スピン分極材料で構成することが好ましく、例えば、Fe、Co、Ni、CoFe、NiFe、CoZrNb又はCoFeNi等の単層構造又は多層構造が用いられる。下部強磁性薄膜層（ピンド層）の膜厚は、1～10nm、好ましくは2～5nmである。この膜厚が厚くなりすぎると反強磁性薄膜層との交換結合バイアス磁化が弱まり、膜厚が薄くなりすぎるとTMR変化率が減少する。上部強磁性薄膜層（フリー層）の膜厚は、2～50nm、好ましくは4～30nmである。この膜厚が厚くなりすぎるとヘッド動作時の出力が低下しかつバルクハウゼンノイズ等によって出力の不安定性が増大し、膜厚が薄くなりすぎるとTMR効果の劣化に起因する出力低下が生じる。

【0077】TMR積層体72におけるトンネルバリア層は、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、NiO、GdO、MgO、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、MoO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>又はWO<sub>2</sub>等から構成される。膜厚は、0.5～2nm程度である。このトンネルバリア層の膜厚は、素子の低抵抗値化の観点からできるだけ薄いことが望ましいが、あまり薄すぎてピンホールが生じるとリーク電流が流れてしまうので好ましくない。

【0078】TMR積層体72における反強磁性薄膜層は、例えばPtMn、RuRhMnで構成されるがその他の一般的な反強磁性材料を用いることもできる。膜厚は6～30nm程度である。

【0079】第1及び第2の追加の絶縁体層77及び127、絶縁ギャップ層78、第1の絶縁体層79及び第2の絶縁体層80は、一般的にはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>で構成される。

【0080】第1及び第2のピアホール導体81及び85、第1、第2及び第3のリード導体82、84及び86、並びに第1及び第2の端子電極（接続パッド）83及び87は、Cu、Al、Au又はAg等で構成される。ただし、一端が上部シールド層124に電気的に接続されている第2のリード導体84を、この上部シールド層

16

層124と同じ材料で形成してもよい。

【0081】本実施形態における重要なポイントは、MR積層体72が存在しない位置において下部シールド層70に凹部76が設けられ、その中に第1の追加の絶縁体層77が埋め込まれていること、並びにMR積層体72が存在しない位置において絶縁ギャップ層78上に第2の追加の絶縁体層127が形成されていることにより、下部シールド層70及び上部ギャップ層123間の距離が実質的にかなり増大するように構成されている点にある。その結果、下部シールド層及び上部シールド層間のキャパシタンスC<sub>Shield</sub>が小さくなるので、薄膜磁気ヘッドの周波数特性が著しく向上するのである。

【0082】図16に示すとき第3の実施形態の場合、下部シールド層70上に位置する上部シールド層124の電位を有する部分の面積、即ちキャパシタとして機能する電極面積は $S=10230\mu\text{m}^2$ （CADによる計算値）であり、下部シールド層70及び上部シールド層124間のキャパシタンスは $C_{\text{Shield}}=4.4\text{pF}$ であり、カットオフ周波数 $f_c$ は $f_c=278\text{MHz}$ であった。ただし、下部シールド層70及び上部シールド層124間の距離は110nmであり、そのうち、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>による絶縁ギャップ層78の膜厚は52nmであり、第1の追加の絶縁体層77の膜厚は150nmであり、第2の追加の絶縁体層127の膜厚も150nmであり、リード線を含むTMRヘッドの抵抗は $R_{\text{HGA}}=130\Omega$ である。追加の絶縁体層77及び127を設けない従来技術の場合、 $C_{\text{Shield}}=10.2\text{pF}$ であり、 $f_c=120\text{MHz}$ であるから、本実施形態によれば、 $C_{\text{Shield}}$ が従来技術より大幅に小さくなることとなり薄膜磁気ヘッドの周波数特性が著しく向上する。

【0083】この第3の実施形態におけるその他の構造、材料、膜厚、作用効果及び変更態様等については、前述した第1の実施形態及び第2の実施形態の場合と同様である。

【0084】図19及び図20は、第3の実施形態におけるTMR型薄膜磁気ヘッドの製造工程の一部を説明する断面図であり、以下これらの図を用いて本実施形態のTMR型薄膜磁気ヘッドの製造方法を説明する。

【0085】まず、図19（A）に示すように、下部シールド層70を成膜しパターニングする。次いで、図19（B）に示すように、その上にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>による絶縁体層を成膜し、CMP処理を行うことによって表面を平坦化して、図19（C）に示すとき第1の絶縁体層79を形成する。

【0086】次いで、その上にレジスト材料を塗布しパターニングすることにより、TMR積層体72の存在しない位置における下部シールド層70の一部が開口した、図19（D）に示すときレジストパターン100

17

を形成する。次いで、このレジストパターン100を介してイオンミリングを行うことにより、図19(E)に示すように、TMR積層体72の存在しない位置における下部シールド層70に凹部76が形成される。

【0087】次いで、図19(F)に示すようにその上に $Al_2O_3$ による絶縁体層を成膜した後、図19

(G)に示すように、リフトオフ処理を行ってレジストパターン100及びその上の不要な絶縁体層を除去する。次いで、CMP処理を行うことによって表面を平坦化して、図19(H)に示すごとく、凹部76内に埋め込まれた追加の絶縁体層77を得る。

【0088】その後、図20(A)に示すように、下部シールド層70の所定位置に、下部ギャップ層71及びその上にTMR積層体72を成膜する。次いで、図20(B)に示すように、TMR積層体72をパターンニングして接合部などを形成し、下部ギャップ層71及びTMR積層体72の外側の下部シールド層70、第1の追加の絶縁体層77及び第1の絶縁体層79上に $Al_2O_3$ による絶縁ギャップ層78を成膜する。

【0089】次いで、ハードマグネット層75(図17)を形成した後、その上にレジスト材料を塗布しパターンニングすることにより、TMR積層体72の存在しない位置における絶縁ギャップ層78の一部が開孔した、図20(C)に示すときレジストパターン150を形成する。

【0090】次いで、図20(D)に示すようにその上に $Al_2O_3$ による絶縁体層を成膜した後、図20

(E)に示すように、リフトオフ処理を行ってレジストパターン150及びその上の不要な絶縁体層を除去する。これにより、TMR積層体72の存在しない位置における絶縁ギャップ層78上に形成された第2の追加の絶縁体層127を得る。

【0091】その後、図20(F)に示すように、TMR積層体72及び第2の追加の絶縁体層127上に上部ギャップ層123及び上部シールド層124を形成すると共にこれら上部ギャップ層123及び上部シールド層124の外側の絶縁ギャップ層78及び第2の追加の絶縁体層127上に $Al_2O_3$ による第2の絶縁体層80を成膜する。

【0092】上述した各実施形態における第2のリード導体84及び第2のピアホール導体85について、それらの下部シールド層上に位置する部分の面積が小さくなるようにパターンニングすれば、下部シールド層及び上部シールド層間のキャパシタンス $C_{shield}$ をより小さくすることができ、薄膜磁気ヘッドの周波数特性をより向上させることができる。

【0093】さらに、上述した各実施形態においては、絶縁ギャップ層78及び追加の絶縁体層77、127は、 $Al_2O_3$ で形成されているが、この部分の全部又は一部を $Al_2O_3$ より誘電率の低い絶縁材料、例えば

18

$Si_3N_4$ 、 $Co-yFe_2O_3$ (ヘマタイト)又は $SiO_2$ で構成することにより、シールド層間キャパシタンス $C_{shield}$ をさらに低下させることができ、薄膜磁気ヘッドの周波数特性をより向上させることが可能である。

【0094】さらにまた、上述した各実施形態におけるTMR積層体72自体の膜厚を大きくするか、又はTMR積層体72が形成されている部分のみ下部ギャップ層71を厚くすることによって、絶縁ギャップ層78の膜厚が大きくなるように構成すると、シールド層間キャパシタンス $C_{shield}$ をさらに低下させることができ、薄膜磁気ヘッドの周波数特性をより向上させることが可能となる。

【0095】以上述べた実施形態においては、一種の構造を有するTMR積層体を用いているが、本発明は、反強磁性層が基板に遠い側、即ち上側にあるTMR積層体、その他種々の構造のTMR素子についても適用可能である。また、TMRヘッドのみならず、センス電流を積層面と垂直方向に流すいかなる構造のCPP-GMR素子を備えたCPP-GMRヘッドについても全く同様に適用可能である。

【0096】以上述べた実施形態は全て本発明を例示的に示すものであって限定的に示すものではなく、本発明は他の種々の変形態様及び変更態様で実施することができる。従って本発明の範囲は特許請求の範囲及びその均等範囲によってのみ規定されるものである。

【0097】

【発明の効果】以上詳細に説明したように本発明によれば、MR積層体が存在しない位置において下部シールド層及び上部ギャップ層間の距離が増大するように追加の絶縁体層が形成されているため、下部シールド層及び上部シールド層間のキャパシタンス $C_{shield}$ が小さくなる。その結果、薄膜磁気ヘッドの周波数特性が著しく向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】一般的な構造を有するCIP-GMR素子をABS方向から見た図である。

【図2】一般的な構造を有するTMR素子又はCPP-GMR素子をABS方向から見た図である。

【図3】CIP-GMR素子の等価回路図である。

【図4】TMR素子又はCPP-GMR素子の等価回路図である。

【図5】図4に示した等価回路において、シールド層間のキャパシタンスが $C_{shield} = 6pF$ の場合における減衰量の対周波数特性を示す図である。

【図6】図4に示した等価回路において、シールド層間のキャパシタンスが $C_{shield} = 1pF$ の場合における減衰量の対周波数特性を示す図である。

【図7】本発明の第1の実施形態として、TMR型薄膜磁気ヘッドの下部シールド層、上部シールド層及びリー



ド導体部分の構成を概略的に示す平面図である。

【図8】図7のA-A線断面図である。

【図9】図7のB-B線断面図である。

【図10】第1の実施形態におけるTMR型薄膜磁気ヘッドの製造工程の一部を説明する断面図である。

【図11】第1の実施形態におけるTMR型薄膜磁気ヘッドの製造工程の一部を説明する断面図である。

【図12】本発明の第2の実施形態として、TMR型薄膜磁気ヘッドの下部シールド層、上部シールド層及びリード導体部分の構成を概略的に示す平面図である。

【図13】図12のA-A線断面図である。

【図14】図12のB-B線断面図である。

【図15】第2の実施形態におけるTMR型薄膜磁気ヘッドの製造工程の一部を説明する断面図である。

【図16】本発明の第3の実施形態として、TMR型薄膜磁気ヘッドの下部シールド層、上部シールド層及びリード導体部分の構成を概略的に示す平面図である。

【図17】図16のA-A線断面図である。

【図18】図16のB-B線断面図である。

【図19】第3の実施形態におけるTMR型薄膜磁気ヘッドの製造工程の一部を説明する断面図である。

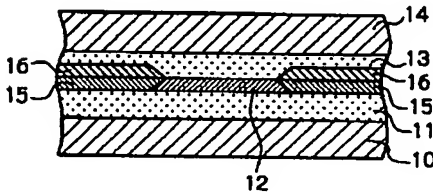
【図20】第3の実施形態におけるTMR型薄膜磁気ヘッドの製造工程の一部を説明する断面図である。

ッドの製造工程の一部を説明する断面図である。

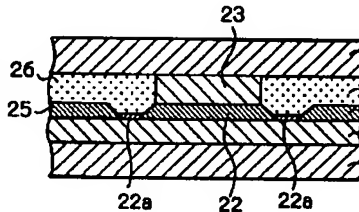
【符号の説明】

- 70 下部シールド層
- 71 下部ギャップ層
- 72 TMR積層体
- 73、123 上部ギャップ層
- 74、124 上部シールド層
- 75 ハードバイアス層
- 76 凹部
- 77、127 追加の絶縁体層
- 78 絶縁ギャップ層
- 79 第1の絶縁体層
- 80 第2の絶縁体層
- 81 第1のピアホール導体
- 82 第1のリード導体
- 83 第1の端子電極
- 84 第2のリード導体
- 85 第2のピアホール導体
- 86 第3のリード導体
- 87 第2の端子電極
- 100、150 レジストパターン層

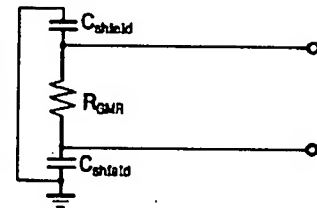
【図1】



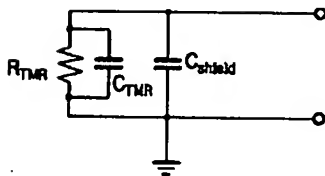
【図2】



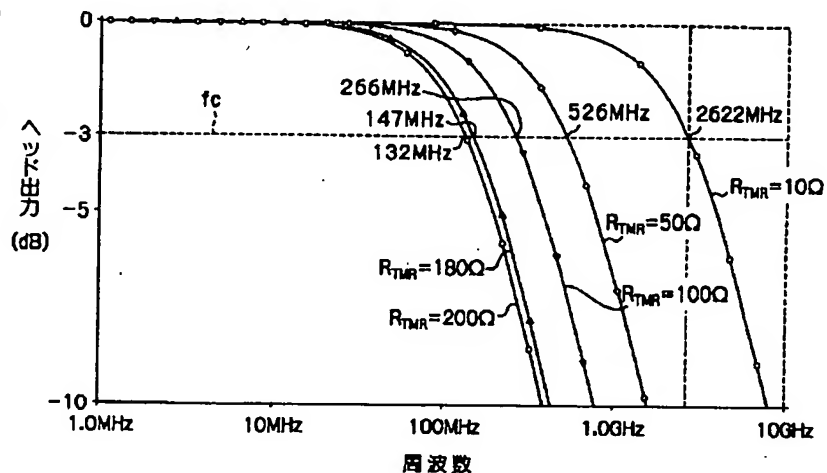
【図3】



【図4】

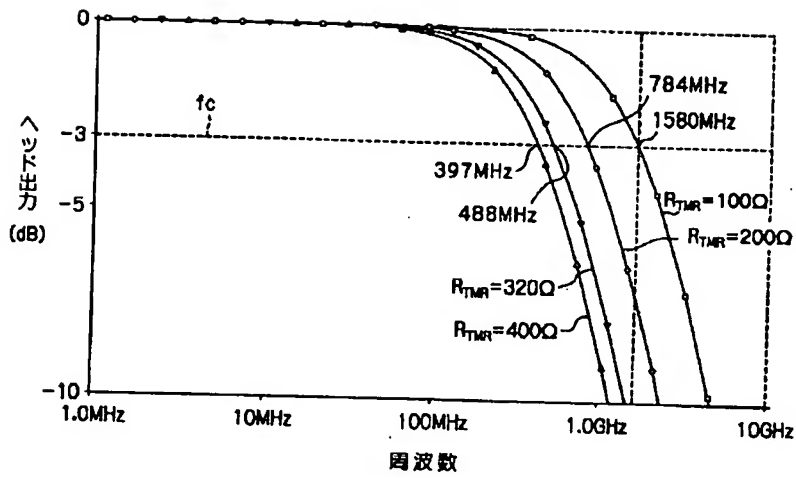


【図5】

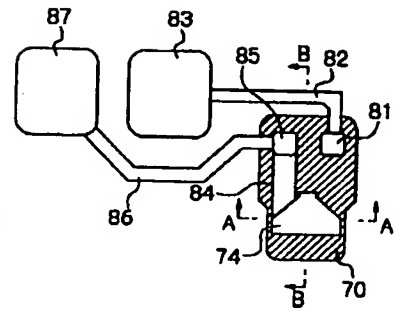




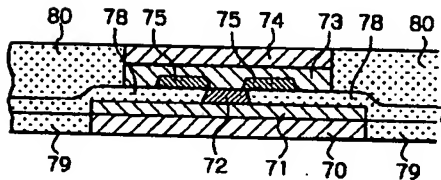
【図6】



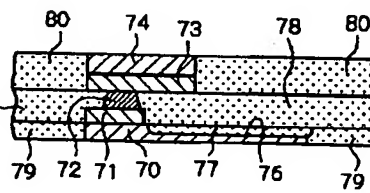
【図7】



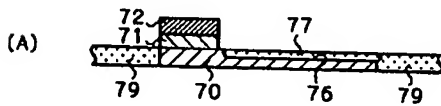
【図8】



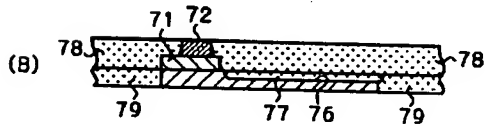
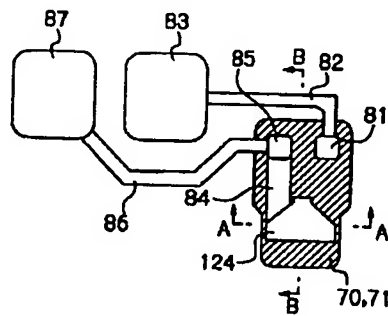
【図9】



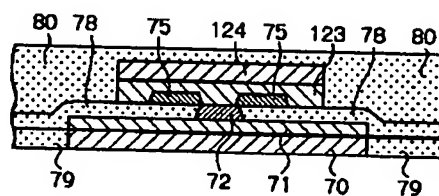
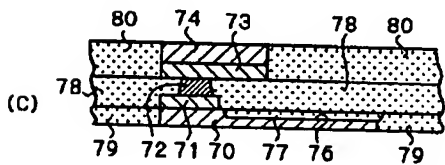
【図11】



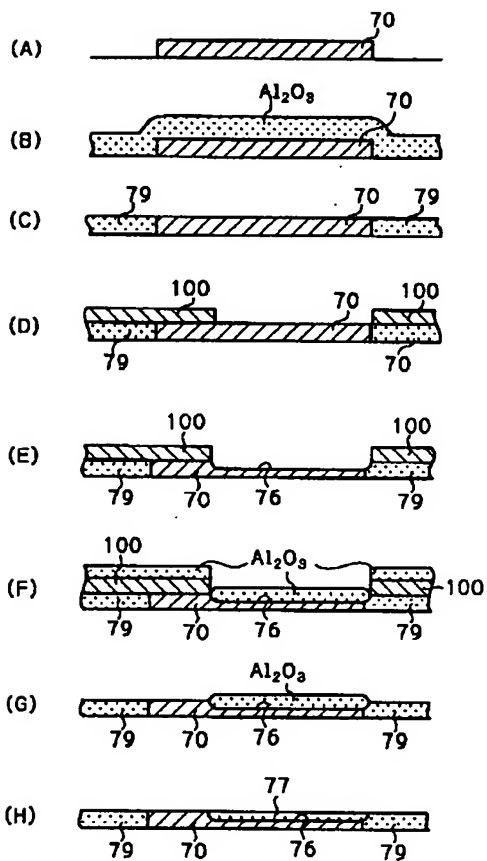
【図12】



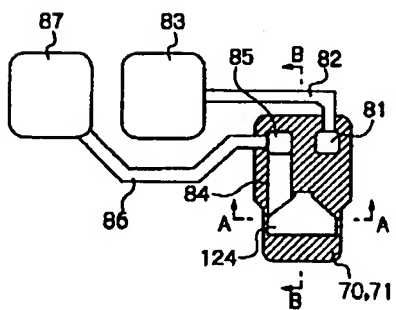
【図13】



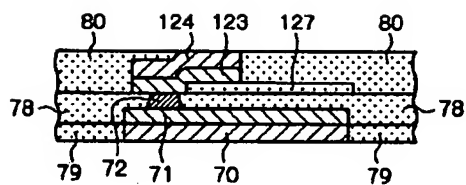
【图 10】



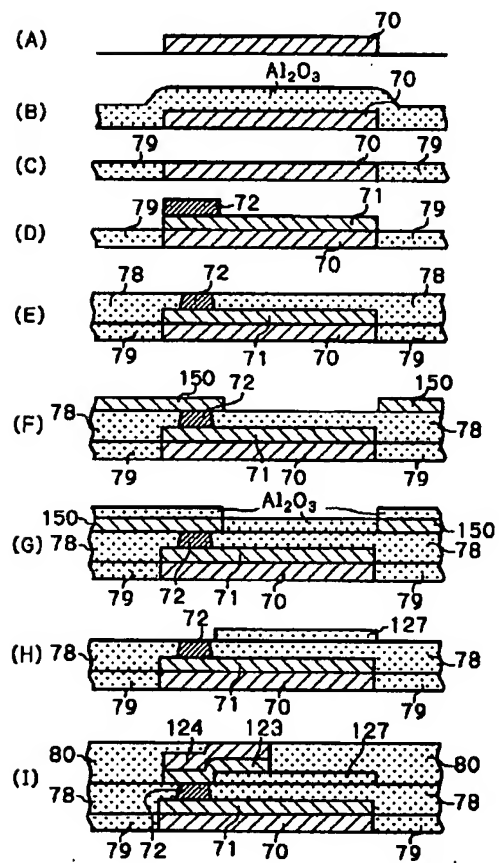
【图 16】



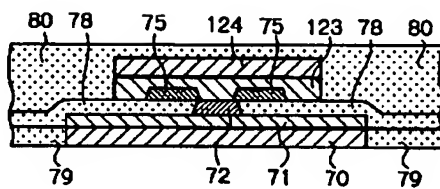
【图 14】



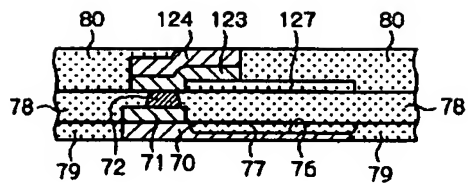
【图 15】



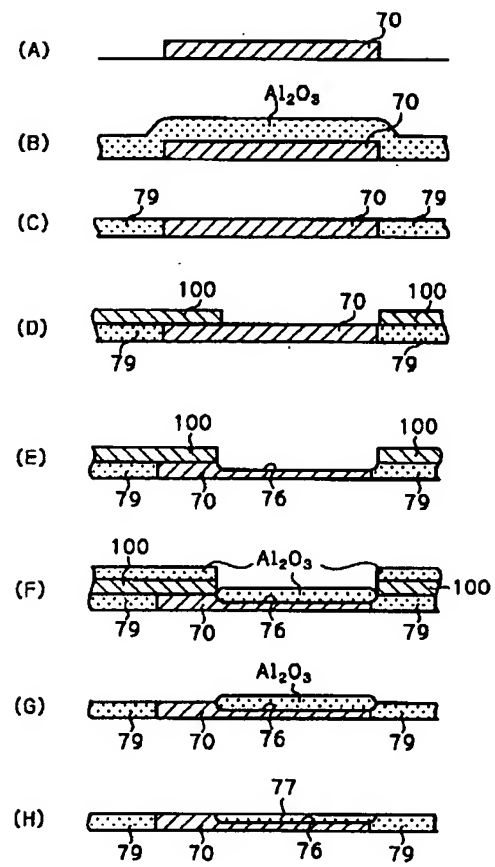
【圖 17】



【図18】



【図19】



【図20】

